



TUGAS AKHIR -TM091585

SIMULASI PENGUJIAN FATIGUE PADA FORK RACING BICYCLE MENGGUNAKAN STANDAR CEN 14781

Disusun Oleh:

Juli Marta
NRP.2113105010

Dosen Pembimbing:

Alief Wikarta, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016



TUGAS AKHIR - TM 091585

**SIMULASI PENGUJIAN *FATIGUE*
PADA *FORK RACING BICYCLE*
MENGUNAKAN STANDAR *CEN 14781***

JULI MARTA
NRP. 2113105010

Dosen Pembimbing
ALIEF WIKARTA, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM 091585

**SIMULATION OF FATIGUE TESTING
ON BICYCLE RACING FORK
USING CEN 14781**

JULI MARTA
NRP. 2113105010

Acedemis Supervisor
ALIEF WIKARTA, S.T., M.Sc. Eng., Ph.D.

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Tchnology
Surabaya 2016



SIMULASI PENGUJIAN FATIGUE PADA FORK RACING BICYCLE MENGGUNAKAN STANDAR CEN 14781

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Mekanika Benda Padat
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

Juli Marta

Nrp. 2113 105 010

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Alief Wikarta, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D (Pembimbing I)
NIP. 198202102006041002
2. Dr.Ir. Agus Sigit Pramono, DEA (Penguji I)
NIP. 196508101991021001
3. Dr.Eng Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng.Sc (Penguji II)
NIP. 197805102001121001
4. Dr. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng (Penguji III)
NIP. 197505111999031001

SURABAYA

Januari , 2016



SIMULASI PENGUJIAN *FATIGUE* PADA *FORK RACING BICYCLE* MENGUNAKAN STANDAR *CEN 14781*

Nama Mahasiswa : Juli Marta
NRP : 2113105010
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Alief Wikarta, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Pada proses perancangan sepeda, kekuatan dan keamanan dari rangka sepeda merupakan hal yang harus menjadi perhatian utama. Terutama pada bagian *fork* sepeda, sehingga dalam perancangan *fork* merupakan hal yang penting. Kenyamanan dan keamanan sangatlah ditentukan dari geometri dan jenis material yang digunakan. Penelitian dilakukan untuk mengetahui tegangan kritis dan perkiraan umur pakai akibat pengujian yang dilakukan.

Pengujian yang dipakai untuk mengetahui *fatigue* pada rangka *fork* sepeda yaitu pengujian “*fork – bending fatigue test*” yang ada pada *European Committee for Standardization (CEN) 14781 (Racing bicycles — Safety requirements and test methods)*. Dimana pemodelan pembebanan dilakukan dengan *static and fatigue bending test*. Dalam analisa penelitian ini akan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga, yaitu *SOLIDWORKS 2012*.

Variasi yang paling baik untuk struktur *fork* yang akan digunakan yaitu jenis material AISI 4130 dengan ketebalan diatas 1,4 mm. Untuk meningkatkan nilai *life* minimum pada jenis material *Aluminium 6061 T6*, dilakukan perbaikan atau menambah ketebalan pada *fork* yaitu dengan ketebalan menjadi 3,4 mm pada bagian *steer* dan *blade fork*, didapatkan hasil *life* minimum 102.900 *cycles* dan *safety factor* 1,004 Sehingga struktur dari *fork* menunjukkan aman untuk digunakan dimana batas *life* yang diijinkan minimum yaitu 100000 *cycles*.



Kata kunci: fatigue, metode elemen hingga, fork racing bicycle, CEN 14781.



SIMULATION OF FATIGUE TESTING ON BICYCLE RACING FORK USING STANDARD CEN 14781

Name : Juli Marta
NRP : 2113105010
Departement : Teknik Mesin FTI-ITS
Supervisor : Alief Wikarta, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Process of design on a bike, strength and safety of a bicycle frame is a thing that should be a major concern. Especially on the bike fork, result in the design of the fork is important. The aim simulation is determine the critical stress and the estimated useful life as a result of tests performed. Specification of geometry and material properties fork bicycle is important

Fatigue testing for determine the fatigue life on fork front bike is "fork - bending fatigue test" at the European Committee for Standardization (CEN) 14781 (Racing bicycles - Safety requirements and test methods). Modeling use static and fatigue bending test.. In the analysis of this study will use a software based on the finite element method is SOLIDWORKS 2012.

The variation of the best value for the fork structure that will be used are the type of material AISI 4130 with a thickness above 1,4 mm. To increase the value of the minimum life on the type of material aluminum 6061 T6, repairs or increase the thickness of the fork is the thickness to 3.4 mm at the steer and blade fork, the result 102 900 cycles minimum life and safety factor of 1,004 Thus the structure of the fork shown to be safe to be used where the minimum allowable life limit is 100000 cycles.



Keywords: fatigue, finite element method, racing bicycle fork, CEN 14781.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga Tugas Akhir yang saya kerjakan dapat saya selesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini saya susun sesuai dengan bidang studi saya Desain dengan judul Simulasi Pengujian *Fatigue* Pada *Fork Racing Bicycle* Menggunakan Standar CEN 14781. Saya juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada.

1. Ir. Bambang Pramujati, M.Eng.Sc,PhD., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin FTI ITS
2. Alief Wikarta, S.T., M.Sc.Eng., Phd., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
3. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT., selaku dosen wali
4. Dr.Ir. Agus Sigit Pramono, DEA, selaku dosen penguji 1 Seminar dan Sidang Tugas Akhir
5. Dr.Eng.Unggul Wasiwitono,ST.,M.Eng.Sc., selaku dosen penguji 2 Seminar dan Sidang Tugas Akhir
6. Dr. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng, selaku dosen penguji 3 Seminar dan Sidang Tugas Akhir
7. Arif Wahjudi, ST., MT., Phd., selaku Kasie Proposal dan Tugas Akhir
8. Kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan motivasi dan memberi dukungan penuh selama umur hidup penulis.
9. Keluarga besar Laboratorium Mekanika Benda Padat Mesin yang telah memberikan dukungan, motivasi dan pembelajaran selama kuliah di Teknik Mesin ITS.
10. Keluarga besar Lintas Jalur Mesin 2013 telah memberikan dukungan, motivasi, pembelajaran dan persahabatan selama kuliah di Teknik Mesin ITS.
11. Keluarga besar Ikatan Mahasiswa Bangka Belitung (ISBA) yang telah memberikan dukungan, motivasi,

pembelajaran dan persahabatan selama kuliah di Teknik Mesin ITS.

12. Adek Wakhidah Kurnia Putri terima kasih untuk perhatian, dukungan dan sayangnya.
13. Semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu mata kuliah wajib yang harus ditempuh oleh mahasiswa Teknik Mesin FTI-ITS agar memenuhi syarat kelulusan. Kami menyadari laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saya mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir saya. Semoga laporan Tugas Akhir yang saya buat dapat bermanfaat.

Surabaya, Januari 2016

Penyusun



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Perumusan Masalah.....	3
1.3.Tujuan Penelitian	3
1.4.Manfaat penelitian.....	3
1.5.Batasan Masalah	4
1.6.Sistematika Laporan	4
BAB II.....	5
DASAR TEORI.....	5
2.1. <i>Fork</i>	5
2.2. <i>Standard</i> Pengujian.....	6
2.2.1. <i>Front Fork – Static Bending Test</i>	7
2.2.2. <i>Front Fork – Fatigue Bending Test</i>	8
2.3.Sifat Mekanis Bahan (<i>material properties</i>).....	8
2.3.1. <i>Alloy Steel (AISI 4130)</i>	8
2.3.2. <i>Alluminium Alloy (AA 6061 T6)</i>	11
2.4.Teori Kegagalan	12
2.5.Teori Kelelahan.....	12
2.6.Metode Elemen Hingga	16
2.7.Studi Pustaka	17
BAB III.....	23
METODOLOGI	23



3.1. Diagram Alir Penelitian	23
3.2. <i>Boundary Conditions</i> dan <i>Loads</i>	26
3.2.1 <i>Static Bending Test</i>	26
3.2.2 <i>Fatigue Bending Test</i>	27
3.3. Diagram Alir Simulasi	27
3.4. Desain Eksperimen	30
3.5. Evaluasi Hasil dan Kesimpulan	30
BAB IV	31
HASIL DAN ANALISA	31
4.1. Hasil Simulasi <i>Static Bending Test</i>	31
4.1.1 <i>Static Bending Test Fork</i> Variasi 1	31
4.1.2 <i>Static Bending Test Fork</i> Variasi 2	33
4.1.3 <i>Static Bending Test Fork</i> Variasi 3	34
4.1.4 <i>Static Bending Test Fork</i> Variasi 4	35
4.1.5 <i>Static Bending Test Fork</i> Variasi 5	36
4.1.6 <i>Static Bending Test Fork</i> Variasi 6	37
4.2. Hasil Simulasi <i>Fatigue Bending Test</i>	38
4.2.1 <i>Fatigue Bending Test Fork</i> Variasi 1	38
4.2.2 <i>Fatigue Bending Test Fork</i> Variasi 2	41
4.2.3 <i>Fatigue Bending Test Fork</i> Variasi 3	44
4.2.4 <i>Fatigue Bending Test Fork</i> Variasi 4	47
4.2.5 <i>Fatigue Bending Test Fork</i> Variasi 5	50
4.2.6 <i>Fatigue Bending Test Fork</i> Variasi 6	53
4.3. Pembahasan Hasil Simulasi	56
4.3.1 Analisa Perbandingan <i>Static Bending Test Fork</i>	56
4.3.2 Analisa Perbandingan <i>Fatigue Bending Test Fork</i>	60
4.4. Analisa Perbaikan	62
BAB V	65
KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1. Kesimpulan	65
5.2. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sepeda dan bagian – bagian ^[11]	5
Gambar 2.2 <i>Fork</i> dan bagian – bagian ^[12]	6
Gambar 2.3 <i>Front fork – Static Bending Test</i> ^[3]	7
Gambar 2.4 <i>Front fork – Bending Fatigue Test</i> ^[3]	8
Gambar 2.5 <i>Stress – Time Variation</i> untuk tegangan berfluktuasi ^[6]	13
Gambar 2.6 <i>Typical S – N Curves</i> ^[6]	14
Gambar 2.7 Pertumbuhan <i>fatigue</i> ^[6]	16
Gambar 2.8 Perbandingan geometri asli dan optimal ^[11]	18
Gambar 2.9 Nilai <i>fatigue life</i> optimal geometri ^[11]	19
Gambar 2.10 Tegangan yang terjadi pada <i>road racing fork</i> ^[2]	20
Gambar 2.11 Deformasi yang terjadi pada <i>road racing fork</i> ^[2]	20
Gambar 2.12 Distribusi (a) <i>stress</i> and (b) <i>Tsai-Wu factors</i> ^[3]	21
Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir	23
Gambar 3.2 Spesifikasi <i>fork racing bicycle</i>	25
Gambar 3.3 <i>Boundary conditions</i> dan <i>loads static</i> <i>bending test</i>	26
Gambar 3.4 <i>Boundary conditions</i> dan <i>loads fatigue</i> <i>bending test</i>	27
Gambar 3.5 Diagram alir simulasi <i>static bending test</i>	28
Gambar 3.6 Diagram alir simulasi <i>fatigue bending test</i>	29
Gambar 4.1 Skema simulasi penelitian	31
Gambar 4.2 Tegangan pada <i>fork</i> variasi 1	32
Gambar 4.3 Deformasi pada <i>fork</i> variasi 1	32
Gambar 4.4 Tegangan pada <i>fork</i> variasi 2	33
Gambar 4.5 Deformasi pada <i>fork</i> variasi 2	33
Gambar 4.6 Tegangan pada <i>fork</i> variasi 3	34
Gambar 4.7 Deformasi pada <i>fork</i> variasi 3	34
Gambar 4.8 Tegangan pada <i>fork</i> variasi 4	35
Gambar 4.9 Deformasi pada <i>fork</i> variasi 4	35
Gambar 4.10 Tegangan pada <i>fork</i> variasi 5	36



Gambar 4.11 Deformasi pada <i>fork</i> variasi 5.....	36
Gambar 4.12 Tegangan pada <i>fork</i> variasi 6.....	37
Gambar 4.13 Deformasi pada <i>fork</i> variasi 6.....	37
Gambar 4.14 <i>Life fork</i> variasi 1	39
Gambar 4.15 Lokasi titik minimum <i>life fork</i> variasi 1	39
Gambar 4.16 <i>Safety factor fork</i> variasi 1.....	40
Gambar 4.17 <i>Damage fork</i> variasi 1.....	40
Gambar 4.18 <i>Life fork</i> variasi 2	42
Gambar 4.19 <i>Safety factor fork</i> variasi 2.....	42
Gambar 4.20 Lokasi titik minimum <i>safety factor</i> variasi 2	43
Gambar 4.21 <i>Damage fork</i> variasi 1.....	43
Gambar 4.22 <i>Life fork</i> variasi 2.....	45
Gambar 4.23 <i>Safety factor fork</i> variasi 3.....	45
Gambar 4.24 Lokasi titik minimum <i>safety factor fork</i> variasi 3	46
Gambar 4.25 <i>Damage fork</i> variasi 3.....	46
Gambar 4.26 <i>Life fork</i> variasi 4	48
Gambar 4.27 Lokasi titik minimum <i>life fork</i> variasi 4	48
Gambar 4.28 <i>Safety factor fork</i> variasi 4.....	49
Gambar 4.29 <i>Damage fork</i> variasi 4.....	49
Gambar 4.30 <i>Life fork</i> variasi 5	51
Gambar 4.31 Lokasi titik minimum <i>life fork</i> variasi 5	51
Gambar 4.32 <i>Safety factor fork</i> variasi 5.....	52
Gambar 4.33 <i>Damage fork</i> variasi 5.....	52
Gambar 4.34 <i>Life fork</i> variasi 6	54
Gambar 4.35 Lokasi titik minimum <i>life fork</i> variasi 6	54
Gambar 4.36 <i>Safety factor fork</i> variasi 6.....	55
Gambar 4.37 <i>Damage fork</i> variasi 6.....	55
Gambar 4.38 Grafik tegangan ekuivalen terhadap variasi ketebalan dan jenis material	56
Gambar 4.39 Grafik total deformasi terhadap variasi ketebalan dan jenis material.....	57
Gambar 4.40 Lokasi titik maksimum tegangan ekuivalen	58
Gambar 4.41 Lokasi titik maksimum deformasi	58



Gambar 4.42 Perbaikan pada <i>steer</i> dan <i>blade fork</i>	62
Gambar 4.43 <i>Life fork</i> dan <i>Safety factor fork</i> perbaikan AA 6061 T6	63



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penandaan <i>Alloy Steels</i> ^[10]	9
Tabel 2.2 Komposisi nominal <i>Alloy Steels</i> ^[10]	10
Tabel 2.3 Klasifikasi paduan <i>aluminium</i> tempaan ^[5]	11
Tabel 2.4 Hasil analisa untuk geometri asli ^[1]	18
Tabel 3.1 Dimensi <i>fork racing bicycle</i>	25
Tabel 3.2 <i>Property</i> AISI 4130	25
Tabel 3.3 <i>Property</i> AA 6061 T6	26
Tabel 4.1 Hasil simulasi <i>fatigue bending test</i> variasi 1	38
Tabel 4.2 Hasil simulasi <i>fatigue bending test</i> variasi 2	41
Tabel 4.3 Hasil simulasi <i>fatigue bending test</i> variasi 3	44
Tabel 4.4 Hasil simulasi <i>fatigue bending test</i> variasi 4	47
Tabel 4.5 Hasil simulasi <i>fatigue bending test</i> variasi 5	50
Tabel 4.6 Hasil simulasi <i>fatigue bending test</i> variasi 6	53
Tabel 4.7 Perbandingan hasil simulasi tegangan ekuivalen dan deformasi	56
Tabel 4.8 Perbandingan hasil simulasi <i>fatigue bending test</i>	60



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sepeda merupakan alat transportasi sederhana tanpa menggunakan motor yang masih banyak digunakan di jaman modern sekarang ini. Pemakaian sepeda juga tidak hanya sebatas pada kondisi jalan yang rata, beberapa jenis sepeda digunakan pada kondisi yang ekstrim, misal pemakaian sepeda untuk sarana olahraga, gunung, dan santai. Pada kategori sepeda yang dikendarai pada kondisi jalan yang tidak rata dengan kecepatan tinggi, kondisi ini menyebabkan komponen – komponen sepeda yang awalnya terbebani secara statik berubah menjadi dinamik, karena pada saat itu gaya aksi dan reaksi yang disebabkan gaya berat sepeda dengan permukaan jalan berfluktuatif sesuai dengan kondisi jalan.

Rangka sepeda yang berguna sebagai penyangga utama menjadi tempat berpusatnya resultan gaya dari semua komponen. Pada kondisi jalan yang rata gaya aksi reaksi didefinisikan sebagai beban minimum, sedangkan pada jalan yang bergelombang ataupun pada saat terjadi benturan kondisi beban didefinisikan sebagai beban maksimum. Kondisi pembebanan seperti ini berlangsung secara berulang, sehingga material kerangka atau komponen – komponen sepeda mengalami kelelahan (*fatigue*) dan keretakan (*crack*) maka akhirnya terjadilah kegagalan (*failure*). Kegagalan ini biasa terjadi meskipun pembebanan yang dialami kerangka sepeda jauh lebih rendah dibanding yang dibutuhkan untuk menimbulkan rangka sepeda tersebut gagal pada pembebanan static.

Kegagalan yang disebabkan oleh kelelahan material sangat membahayakan karena kelelahan bisa mengakibatkan patah yang terjadi tanpa diawali deformasi pada material tersebut. Sehingga tidak terdeteksi secara visual. Beberapa hal yang dapat mengakibatkan kelelahan pada material lebih cepat, yaitu beban maksimum yang cukup tinggi, variasi atau fluktuasi tegangan



yang cukup besar, dan siklus penerapan tegangan cukup besar. Variabel lain yang dapat mempercepat kelelahan seperti konsentrasi tegangan, korosi, suhu, tegangan sisa, dan geometri dari kerangka sepeda itu sendiri.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya seperti *Fatigue Analysis of a Bicycle Fork* dengan menggunakan standar ASTM. Berdasarkan karakteristik sifat material dan geometri *fork*, analisa pengembangan kelelahan dilakukan dengan konsep *Finite Element Analysis* (FEA)^[1].

Stress analysis on the road racing fork test, menganalisa *racing fork* untuk mengetahui berapa tegangan dan deformasi yang terjadi, dengan menggunakan material aluminium 2024 T4^[2].

Development of Carbon Composite Bike Fork Using Finite Element Analysis and a New Pressure Molding Process menganalisa *stress* dan deformasi yang terjadi pada *racing fork bicycle* dengan menggunakan teori *Tsai-Wu* dan standar CEN 14781^[3].

Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam perancangan *fork*/garpu sepeda. Selain dari estetika dan ergonomi, faktor kekuatan komponen juga harus diperhatikan. Pada dasarnya penelitian dilakukan dengan memvariasikan jenis dan ketebalan material, dimana dilaksanakan studi tentang pengaruh perubahan jenis dan ketebalan material terhadap distribusi tegangan dan umur (siklus) yang terjadi. Pada penelitian ini akan dilakukan permodelan pembebanan *static* dan *fatigue* yang mengacu pada pengujian *fork – fatigue test racing bicycles* yang ada pada *European Committee for Standardization (CEN) 14781 standards*, untuk mengetahui tegangan kritis pada *fork* sepeda dan menghitung umur pemakaian yang diijinkan dari *fork* sepeda tersebut. Penelitian ini akan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga, yaitu *SOLIDWORKS 2012*.



1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang diambil pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Daerah dan tegangan kritis pada *fork* sepeda akibat *static bending test* dengan memvariasikan jenis material *alloy steel (AISI 4130)* dan *aluminium (AA 6061 T6)* serta ketebalan material yaitu 1,2, 1,4 dan 1,6 mm.
2. Umur (siklus) maksimal pada *fork* sepeda akibat *fatigue bending test*.
3. Bagaimana melakukan perbaikan pada *fork* yang gagal atau tidak aman.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui dimana daerah dan tegangan kritis pada *fork* sepeda akibat *static bending test* dengan memvariasikan jenis material *alloy steel (AISI 4130)* dan *aluminium (AA 6061 T6)* serta ketebalan material yaitu 1,2, 1,4 dan 1,6 mm.
2. Mengetahui umur (siklus) maksimal pada *fork* sepeda akibat *fatigue bending test*.
3. Melakukan perbaikan pada *fork* yang gagal atau tidak aman.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bisa mendapatkan *fork* sepeda yang mempunyai ketahanan *fatigue* lebih tinggi dengan variasi jenis material dan ketebalan material.
2. Sebagai referensi untuk meneliti lebih lanjut *fork - fatigue test*.



1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

1. Pengujian yang disimulasikan hanya pengujian *static and fatigue test* dilakukan dengan pemodelan, tidak dilakukan uji eksperimentasi.
2. Material *fork* sepeda dianggap *homogen* dan *uniform*.
3. Pengaruh pengelasan dianggap baik dan seragam karena telah melalui proses perlakuan panas keseluruhan.
4. Pengaruh kondisi lingkungan diabaikan, misal : temperature dan tekanan udara.

1.6 Sistematika laporan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, sistematika penulisan adalah sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan.

Bab II Dasar Teori

Berisikan teori-teori pendukung yang digunakan dalam menyusun tugas akhir ini.

Bab III Metodologi

Berisikan prosedur pelaksanaan pengujian dan pengambilan data serta prosedur analisa.

Bab IV Hasil dan Analisa

Berisikan hasil simulasi *static* dan *fatigue bending test* beserta pembahasannya.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Berisikan kesimpulan dari simulasi yang telah dilakukan dan saran-saran agar mendapatkan analisis yang lebih baik.



BAB II DASAR TEORI

2.1 Fork

Sepeda adalah sarana transportasi yang pertama, dimana hanya menggunakan dua roda dan diciptakan oleh Baron Karl Von Drais pada tahun 1817 dari Jerman. Seiring dengan kemajuan teknologi, sepeda telah mengalami perbaikan terus menerus, inovasi ini berkembang dengan adanya bahan dan peralatan yang modern serta design telah dilakukan dengan *computer* memungkinkan untuk membuat berbagai macam jenis sepeda. Adapun jenis – jenis sepeda yang umum seperti sepeda *hybrid*, sepeda *cruiser*, sepeda kota, sepeda balap, sepeda gunung dan sepeda BMX. Sepeda memiliki bagian – bagian yang berguna sebagai penyangga utama menjadi tempat berpusatnya resultan gaya dari semua komponen dan juga untuk meningkatkan kegunaan dan kenyamanan seperti pada gambar 2.1. Dimana bagian utama dari sepeda yaitu *frame* (kerangka) dan *fork* (garpu).

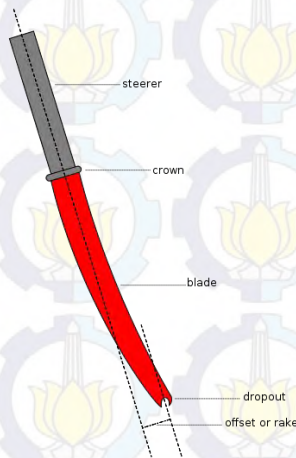


Gambar 2.1 Sepeda dan bagian – bagian^[11]

Fork atau garpu adalah bagian dari sepeda yang berfungsi sebagai tumpuan roda depan untuk memegang kendali dan menghubungkan roda depan dengan *frame* serta untuk mengendalikan laju roda depan sesuai dengan arahan dari



pengguna. Sebuah *fork* biasanya mempunyai dua buah *blade* yang menyatu dengan *crown fork* dan *steer fork* akan terhubung dengan *head tube frame* sepeda yang melalui bantalan. Sedangkan *dropout* yaitu sebagai tumpuan roda depan. Bagian utama *fork* terdiri dari *steer*, *crown*, *blade* dan *dropout*. *Fork* memiliki beberapa dimensi yang penting yaitu meliputi : panjang *fork*, lebar *fork*, panjang *steer tube fork*, diameter *steer tube fork* dan lebar *offset/rake*, seperti terlihat pada gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Fork dan bagian – bagian^[12]

2.2 Standard Pengujian

Standar pengujian yang dilakukan yaitu menggunakan standard *European Committee for Standardization* (CEN). CEN adalah sebuah organisasi standar yang misinya untuk mendorong perekonomian Eropa dalam perdagangan global diberbagai sektor baik itu barang ataupun jasa. CEN sendiri memiliki banyak nomor seri pada semua jenis sepeda. Untuk penelitian kali ini menggunakan CEN 14781 kategori *racing bicycles*. Dimana tujuannya yaitu memastikan bahwa sepeda diproduksi sesuai dengan spesifikasinya dan digunakan oleh konsumen seaman

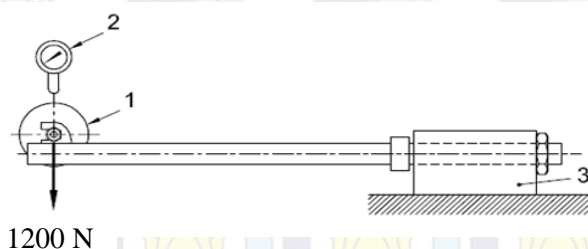


mungkin. Pengujian pada CEN meliputi perancangan (*design*), perakitan dan keselamatan pada sepeda secara keseluruhan. CEN juga menuntut kualitas produk serta pertimbangan keselamatan dan keamanan dari produk.

Gaya luar yang yang terjadi pada *front fork bicycle* yaitu adanya kontak ban terhadap lintasan sehingga menimbulkan gaya reaksi terhadap komponen fork secara horinzontal dan vertikal. Gaya vertikal terjadi sebagian besar melawan gaya gravitasi, tetapi juga bervariasi dengan pengereman dan percepatan. Sedangkan gaya horizontal diakibatkan oleh gesekan roda dengan lintasan, *rolling resistance*, gaya dorong, pengereman dan saat berbelok. Untuk gaya internal disebabkan oleh massa dari komponen sepeda dan pengendara. Selain mengayuh, pengendara dapat menerapkan torsi antara mekanisme kemudi (*garpu/fork* depan, setang/kemudi, dan roda depan) dan *frame* belakang.

2.2.1 *Front fork – Static Bending Test*

Metode pengujian yang dilakukan seperti pada gambar 2.3. Dimana untuk mengukur defleksi *fork* yang tegak lurus terhadap *head bearings* yaitu dilakukan dengan memberikan beban statis 1200 N pada *roller* yang tegak lurus terhadap sumbu *fork*. Setelah itu dapat melakukan evaluasi hasil defleksi yang terjadi tidak melebihi 5 mm^[3].



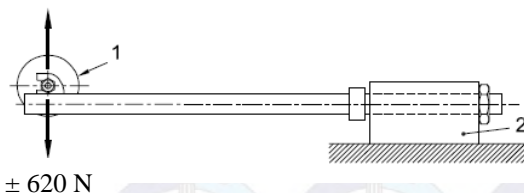
Keterangan : 1. *Loading attachment to swivel on axle*, 2. *Deflection measuring device* dan 3. *Rigid mount incorporating head bearings*

Gambar 2.3 *Front fork – Static Bending Test*^[3]



2.2.2 Front fork – Bending Fatigue Test

Bending fatigue test dilakukan dengan menggunakan peralatan atau secara mekanisme seperti pada gambar 2.4. Pengujian dilakukan dengan pembebanan dinamis ± 620 N pada bidang roda yang tegak lurus terhadap *steamtube* dan *head bearings*, untuk 100000 siklus pengujian dengan hasil frekuensi uji tidak melebihi 25 Hz^[3].



Keterangan : 1. *Pivoted force-attachment* dan 2. *Rigid mount incorporating head bearings*

Gambar 2.4 Front fork – Bending Fatigue Test^[3]

2.3 Sifat Mekanis Bahan (material properties)

Material yang digunakan dalam pembuatan sepeda pada umumnya antara lain *hi-tensile steel*, *chromoly steel*, *aluminium alloy*, *titanium* dan *carbon*. Untuk *aluminium alloy* unggul dalam hal kekakuan materialnya, sedangkan *chromoly steel* unggul dalam hal fleksibilitas material jauh lebih ulet dibanding *aluminium alloy*, maka faktor kenyamanan lebih bagus dalam meredam getaran. Ketebalan material sangat berpengaruh pada kekuatan sepeda, untuk *aluminium alloy* unggul pada beratnya dibanding *chromoly steel*, sehingga *aluminium alloy* dapat mempunyai kekuatan yang sama dengan *chromoly steel* dengan ketebalan jauh lebih tipis dibanding *chromoly steel*.

2.3.1 Alloy Steel (AISI 4130)

Baja paduan rendah (*low alloy steel*) tergolong jenis baja karbon yang memiliki tambahan unsur paduan seperti *Nikel*, *Chromium*, *Mangan* dan *Molybdenum*. Total unsur paduannya



mencapai 2,07% - 2,5%. Baja paduan rendah memiliki baja yang sedikit mengandung unsur paduan dibawah 10% dibandingkan dengan baja paduan tinggi mengandung unsur paduan diatas 10%. Untuk skema klasifikasi kandungan paduan yang terdapat pada jenis baja paduan tertentu telah ditentukan oleh standar *American Iron and Steel Institute (AISI)* dan *Society of Automotive Engineers (SAE)* seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penandaan *Alloy Steels*^[10]

Alloy Steels	Description
13XX	1.75 manganese
40XX	0.20 or 0.25 molydenum or 0.25 molydenum and 0.042 sulfur
41XX	0.50, 0.80, or 0.95 chromium and 0.12, 0.20, or 0.30 molydenum
43XX	1.83 nickel, 0.50 to 0.80 chromium, and 0.25 molydenum
46XX	0.85 or 1.83 nickel and 0.20 or 0.25 molydenum
47XX	1.05 nickel, 0.45 chromium, 0.20 or 0.35 molydenum
48XX	3.50 nickel and 0.25 molydenum
51XX	0.80, 0.88, 0.93, 0.95, or 1.00 chromium
51XXX	1.03 chromium
52XXX	1.45 chromium
61XX	0.60 or 0.95 cromium and 0.13 or 0.15 vanadium minimum
86XX	0.55 nickel, 0.50 chromium, and 0.20 molydenum
87XX	0.55 nickel, 0.50 chromium, and 0.25 molydenum
88XX	0.55 nickel, 0.50 chromium, and 0.35 molydenum
92XX	2.00 silicon or 1.40 silicon and 0.70 chromium
50BXX	0.28 or 0.50 chromium
51BXX	0.80 chromium
81BXX	0.30 nickel, 0.545chromium, and 0.12 molydenum
94BXX	0.45 nickel, 0.40 chromium, and 0.12 molydenum

Mengingat pentingnya peran karbon dalam baja, dalam berbagai cara mengidentifikasi baja, dicantumkan kadar



karbonnya seperti pada tabel 2.2. Baja paduan rendah dikelompokkan menjadi baja paduan kekuatan tinggi dan baja paduan rendah biasa. Baja paduan rendah kekuatan tinggi mempunyai sifat mekanis dan ketahanan korosi yang lebih baik bila dibandingkan dengan baja paduan rendah biasa. Baja ini dibuat melalui pengerasan baik dalam keadaan *diannealing* atau *normalizing*. Baja ini kadar karbonnya rendah sehingga relatif lunak dan liat, sehingga mudah dalam pembentukan dan pengelasan. Unsur-unsur seperti Si, Mn, Ni, Cr, Mo, ditambahkan dalam baja ini. Sebagai unsur-unsur paduan (*alloying element*) dengan jumlah total tidak lebih dari 5%. Sedangkan baja rendah paduan biasa mengandung paling sedikit 0,3% C, yang berarti mudah untuk dikeraskan karena adanya unsur-unsur Ni, Cr, Mn, Mo, berarti baja ini mempunyai sifat *hardenability* yang baik bila mana baja ini *diannealing* dan *distempering* sampai kekuatan tertentu atau bilamana seluruh stuktur *martensite*, maka baja ini mempunyai gejala yang menunjukkan sifat mekanis yang sama dengan baja karbon biasa yang mengandung unsur C yang sama.

Tabel 2.2 Komposisi nominal *Alloy Steels*^[10]

AISI-SAE No.	% C	% Mn	% Cr	% Mo	% Ni	% Si*	Typical application
Manganese steels							
1330	0.30	1.75					High-strength bolts
1340	0.40	1.75					
Chromium steels							
5120	0.20	0.80	0.80				Carburizing steel
5130	0.30	0.80	0.95				Steering parts
5140	0.40	0.80	0.80				
5160	0.60	0.88	0.80				Spring steels
E52100	1.04	0.35	1.45				Ball and roller bearings
Molybdenum steels							
4023	0.23	0.80		0.25			Carburizing steel
4037	0.37	0.80		0.25			
4047	0.47	0.80	0.25				
Chromium-Molybdenum steels							
4118	0.18	0.80	0.50	0.13			Pressure vessels, aircraft structural parts, auto axles, steering knuckles
4130	0.30	0.50	0.95	0.20			
4140	0.40	0.88	0.95	0.20			
Chromium-Vanadium steels							
6150	0.50	0.80	0.95				0.15V, valves and springs
Nickel-Molybdenum steels							
4620	0.20	0.55		0.25	1.83		Transmission gears, chain pints, shafts, roller bearings
4820	0.20	0.60		0.25	3.50		
Nickel (1.83%)-Chromium-Molybdenum steels							
4320	0.20	0.55	0.50	0.25	1.83		Carburizing steel
4340 (E)	0.40	0.70	0.80	0.25	1.83		Heavy sections, landing gears, truck parts
Nickel (0.55%)-Chromium-Molybdenum steels							
8620	0.20	0.80	0.50	0.20	0.55		Carburizing steel
8640	0.40	0.88	0.50	0.20	0.55		Auto springs, small machine axles, shafts
8660	0.60	0.88	0.50	0.20	0.55		
Silicon steels							
9260	0.60	0.88				2.00	Leaf springs

*All steels contains 0.28% min Si except 9260, all steels contain 0.035% max P and 0.040% max S except electric furnace steels (E), which have 0.025% max P and 0.025% max S.



2.3.2 Aluminium Alloy (AA 6061 T6)

Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya. Kekuatan tensil *aluminium* murni adalah 90 MPa, sedangkan *aluminium* paduan memiliki kekuatan tensil berkisar 200-600 MPa. *Aluminium* memiliki berat sekitar satu pertiga baja, mudah ditebuk, diperlakukan dengan mesin, dicor, ditarik (*drawing*), dan diekstrusi. Standar klasifikasi yang terkenal saat ini adalah standar *Aluminium Association* (AA) di Amerika yang didasarkan atas standar terdahulu dari *Aluminium Company of America* (Alcoa), untuk menunjukkan hubungan tersebut seperti pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium tempaan^[5]

Standar AA	Standar Alcoa terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99,5 % atau di atasnya
1100	2S	Al murni 99,0 % atau di atasnya
2010 – 2029	10S-29S	Cu merupakan unsur paduan utama
3003 – 3009	3S-9S	Mn merupakan unsur paduan utama
4030 – 4039	30S-39S	Si merupakan unsur paduan utama
5050 – 5089	50S-69S	Mg merupakan unsur paduan utama
6061 – 6069		Mg ₂ Si merupakan unsur paduan utama
7070 – 7079	70S-79S	Zn merupakan unsur paduan utama

Paduan 6061 merupakan paduan Al-Mg₂-Si, mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan – paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya, ekstrusi, dan sangat baik untuk



mampu bentuk yang tinggi pada temperatur biasa. Paduan ini banyak digunakan untuk rangka – rangka konstruksi.

2.4 Teori Kegagalan

Pada pembebanan *static* terdapat tiga kriteria kegagalan, yaitu :

1. Distorsi atau deformasi *plastic* (*plastic strain*)
Kegagalan ini dinyatakan apabila material dari elemen mesin sudah mengalami batas tegangan tertentu, yaitu tegangan atau regangan luluh (*yield point*) dari material tersebut.
2. *Von misses stress*
Kegagalan ini menyatakan bahwa luluh akan terjadi bila tegangan ekuivalen yang terjadi melebihi harga limit yang diketahui dari hasil uji tarik pada material standar dengan beban uniaksial. Karena dari uji tarik, data yang ada adalah tegangan *yield* (S_y).

$$S_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

Bila $S_{eq} \geq S_{ys} \implies$ gagal

3. Patah/rusak (*fracture*)
Kegagalan ini dinyatakan apabila secara fisik material itu telah menjadi menjadi dua bagian atau lebih. Pada tipe kegagalan ini digunakan batas harga tegangan maksimum (tarik atau tekan) yang diijinkan pada material.

2.5 Teori Kelelahan (*fatigue*)

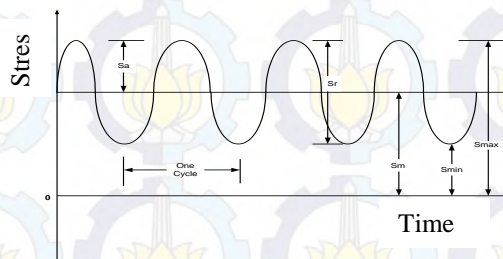
Logam yang menerima tegangan secara berulang – ulang akan dapat rusak/patah pada tingkat tegangan yang jauh lebih rendah dari pada tegangan yang diperlukan untuk mematahkannya dengan sekali pembebanan statik bahkan dapat patah pada tegangan dibawah kekuatan elastiknya (dibawah *yield point*). Kerusakan semacam ini dapat dikatakan rusak karena kelelahan (*fatigue*). Sebagian besar kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan.

Kerusakan karena kelelahan dapat terjadi karena merambatnya retak/cacat secara perlahan/bertahap. Retak ini dapat dimulai dari retak/cacat yang sangat kecil dan retak ini akan



menjalar setiap kali ujung retak itu menerima tegangan. Setiap kali terjadi tegangan maka retak akan merambat, sehingga akhirnya sisa penampang tidak lagi mampu menerima gaya yang bekerja dan akan terjadi patah. Patah ini tampaknya seperti tidak ada tanda – tanda, karena itu *fatigue* seringkali berbahaya.

Jenis pembebanan yang mengakibatkan kelelahan secara teoritik dapat dikelompokkan menjadi dua jenis antara lain siklus tegangan bolak balik (*reversed stress cycles*) yaitu lebih mudah menimbulkan kelelahan dan siklus tegangan berfluktuasi (*fluctuating stress cycling*) dimana fluktuasi tegangan berkisar suatu rata-rata (*mean*) tidak sama dengan nol tetapi dengan amplitudo konstan seperti pada gambar 2.5.

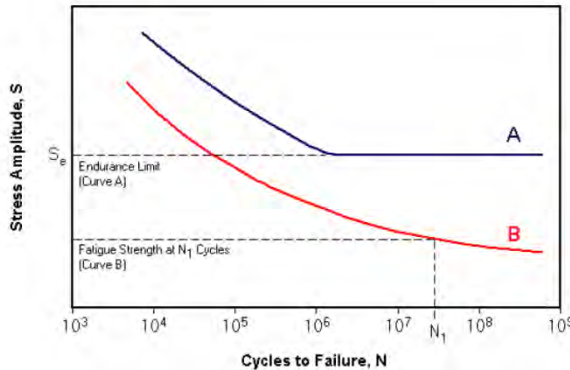


Gambar 2.5 *Stress – Time Variation* untuk tegangan berfluktuasi^[6]

Pengujian kelelahan ini dilakukan dengan cara membuat beberapa material kemudian batang uji pertama diberi beban hingga mencapai tegangan yang cukup tinggi, dan setelah mengalami sebuah siklus pembebanan batang uji itu patah, diambil batang uji berikutnya, diberi beban yang lebih rendah. Demikian selanjutnya sampai semua batang uji selesai teruji. Dari setiap batang uji dicatat besarnya tegangan yang bekerja. Dan jumlah siklus yang dialami sampai patah, dari data yang terkumpul dibuat sebuah grafik Tegangan – Jumlah Cycle atau *Stress – Number of Cycle (S – N) curve* seperti pada gambar 2.6. Kurva S-N aluminium dan baja dapat dilihat bahwa aluminium tidak mempunyai batas lelah karena walaupun diberi beban



dinamis yang kecil sekalipun grafiknya tidak akan pernah konstan dan akan terdapat kerusakan. Sedangkan baja mempunyai batas lelah seperti terlihat pada grafik terdapat daerah yang linear. Jadi kita dapat mengetahui batas lelah atau umur lelah suatu material juga bergantung dari material tersebut.



Gambar 2.6 Tipe $S - N$ Curves^[6]

Pada baja akan dijumpai suatu batas tegangan minimum yang masih dapat mengakibatkan terjadinya kelelahan yaitu pada tegangan di bawah batas ini. Kelelahan (*fatigue failure*) tidak akan terjadi atau dapat dikatakan akan terjadi pada jumlah siklus tak terhingga. Batas tersebut dinamakan sebagai *endurance limit* atau *limit fatigue*, yang menyatakan besarnya tegangan minimum yang akan mengakibatkan kelelahan atau dapat juga dikatakan sebagai *fatigue strength*, pada *number of cycle* (N) tak terhingga.

Tegangan dinamik yang diterima oleh suatu komponen digambarkan dalam suatu grafik *Stress-time*, seperti pada gambar 2.5.

Dimana :

S_a	= Amplitudo tegangan
S_m	= Tegangan Rata-rata (<i>Mean Stress</i>)
S_{max}	= Tegangan Maksimum
S_{min}	= Tegangan Minimum
S_r	= Rentang Tegangan



Dan nilai-nilai nominalnya dapat dihitung dengan persamaan:

$$\bullet \quad S_a = \frac{S_r}{2} = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{2} \quad (2.2)$$

$$\bullet \quad S_m = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2} \quad (2.3)$$

$$\bullet \quad S_{\max} = S_m + S_a \quad (2.4)$$

$$\bullet \quad S_{\min} = S_m - S_a \quad (2.5)$$

Secara umum, kegagalan *fatigue* dikatakan sebagai suatu proses yang dimulai dari pengantian retak (*initiation crack*) kemudian dilanjutkan dengan perambatan retak secara mikroskopik dan makroskopik sehingga akhirnya bisa menyebabkan patah akhir (*final fracture*) dari struktur. Proses ini bisa dipresentasikan dengan persamaan dibawah ini :

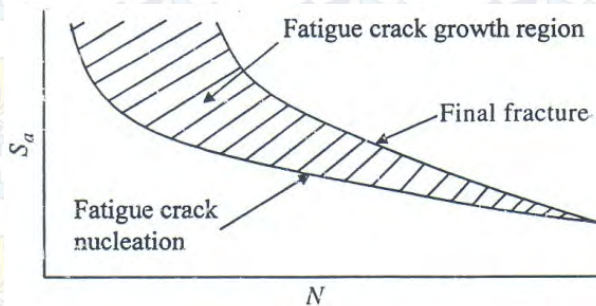
$$N_f = \frac{B}{\sqrt{\frac{S_{Nf}}{S_u}}} \quad (2.6)$$

Dimana :

N_f = Siklus total yang dapat ditempuh sampai terjadinya kegagalan *fatigue*

S_{Nf} = Tegangan umur *fatigue*

S_u = Tegangan *Ultimate*



Gambar 2.7 Pertumbuhan *fatigue*^[6]



Perbedaan tegangan rata-rata (*Mean Stress*, S_m) yang diberikan pada suatu struktur material yang mempunyai pengaruh yang *substantial* terhadap kekuatan *fatiguenya*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5, terlihat bahwa perbedaan *Mean Stress* dengan Tegangan Amplitudo yang sama, akan menyebabkan perbedaan dari jumlah *cycle* yang dapat ditempuh.

2.6 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (FEM) adalah prosedural berbasis komputer yang dapat digunakan untuk menganalisis struktur dan kontinum. Metode ini berdasarkan ide pembangunan objek yang rumit dengan beberapa blok sederhana, atau dengan membagi objek yang rumit menjadi potongan-potongan kecil dan dapat diatur.

Untuk permasalahan kompleks dari geometri, pembebanan, dan sifat material, umumnya susah untuk menyelesaikannya secara matematis. Penyelesaian matematis adalah menggunakan persamaan matematis yang menghasilkan persamaan untuk mendapatkan informasi/penyelesaian dari nilai yang tidak diketahui di setiap lokasi dibagian struktur/objek.

Berikut beberapa langkah analisis struktur dengan metode elemen hingga:

- Mendefinisikan tipe analisis: statis atau dinamis
- Mendefinisikan tipe elemen yang digunakan dalam analisis: *truss*, *beam*, *plate*, *shell*, dan sebagainya
- Mendefinisikan lokasi tiap-tiap *node*
- Mendefinisikan *boundary condition*
- Memberi pembebanan pada struktur
- Menentukan properti material
- Eksekusi untuk mendapatkan hasil

Penyelesaian Metode Elemen Hingga menghasilkan persamaan dari masalah yang dianalisa dalam sistem persamaan serentak yang harus diselesaikan. Penyelesaian ini memberikan hasil/penyelesaian pendekatan dari nilai yang tidak diketahui pada



titik tertentu dalam sistem yang kontinu. Sistem yang kontinu adalah istilah dari kondisi struktur/objek yang sebenarnya.

Dikritisasi (*discretization*) adalah proses pemodelan dari struktur/ objek dengan membaginya dalam elemen – elemen kecil (finite elemen atau elemen hingga) yang terhubung oleh titik- titik (*nodes*) yang digunakan oleh elemen – elemen tersebut dan sebagai batas dari struktur/objek. Dalam metode elemen hingga persamaan dari seluruh sistem dibentuk dari penggabungan persamaan elemen – elemennya. Untuk masalah struktur: penyelesaian yang didapat adalah deformasi (*displacement*) pada setiap titik (*nodes*) yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan besaran – besaran regangan (*strain*) dan tegangan (*stress*). Untuk masalah bukan struktur:

– *Heat transfer*: temperatur akibat flux temperatur.

– *Fluid flow*: tekanan fluida akibat flux fluida.

Metode elemen hingga (*finite elemen method*) telah berkembang selama 35 tahun bersamaan dengan perkembangan teknologi komputer.

Penyelesaian dari metode elemen hingga (MEH) umumnya menggunakan metode matriks. Penyelesaian MEH memerlukan perhitungan yang sangat banyak dan berulang-ulang dari persamaan yang sama, sehingga diperlukan sarana komputer dan bahasa pemrogramannya. Penyelesaian dari seluruh sistem umumnya merupakan penyelesaian persamaan serentak yang dinyatakan dalam bentuk matriks dan diselesaikan menggunakan penyelesaian persamaan serentak (*Cholesky*, *Eliminasi Gauss*, *Iterasi Gauss-Seidel*).

2.7 Studi Pustaka

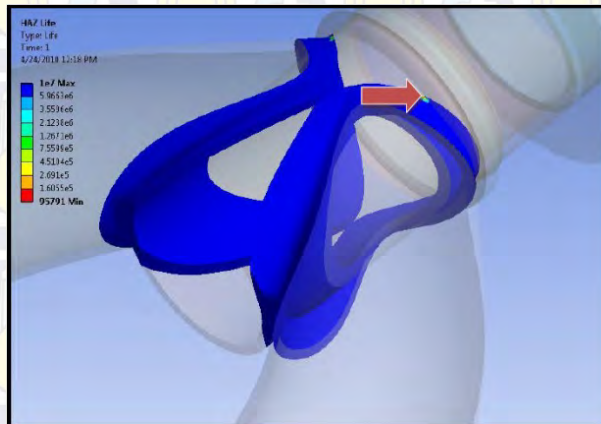
Pada penelitian-penelitian sebelumnya seperti Nathaniel dan Bradford dengan judul *Fatigue Analysis of a Bicycle Fork* dengan menggunakan standar ASTM. Berdasarkan karakteristik sifat material dan geometri *fork*, analisa pengembangan kelelahan dilakukan dengan konsep *Finite Elemen Analysis* (FEA)^[1].

**Tabel 2.4** Hasil analisa untuk geometri asli^[1]

Loading Direction	Minimum Stress (MPa)	Maximum Stress (MPa)	Fatigue Life (cycles)
+Y Loading	7.78e6	5.02e8	24,900
-Y Loading	7.76e6	4.96e8	25,200

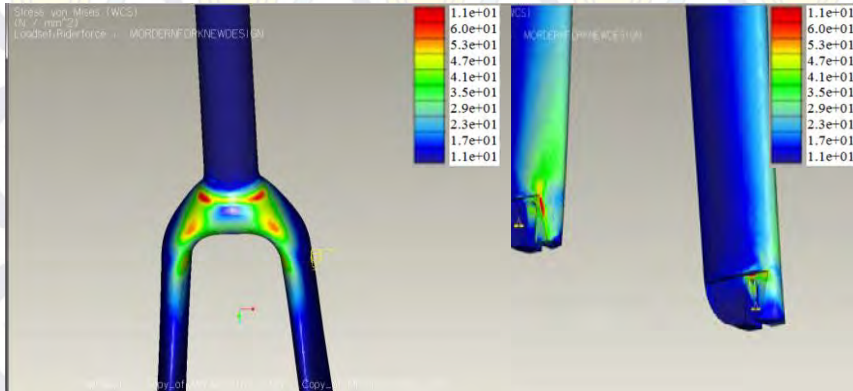
Pada tabel 2.4 menunjukkan hasil tegangan minimum, tegangan maksimum, dan umur kelelahan pada *Heat Affected Zone* (HAZ) *fork* dari analisis yang telah dilakukan. Perbandingan tegangan maksimum pada HAZ untuk *properties* dari bahan yang terdegradasi di daerah pengelasan, bahwa menunjukkan sama besarnya. Pengujian yang dilakukan dari sifat material pada daerah tersebut dengan mengubah geometri pemodelan yang membuat desain lebih ringan seperti pada gambar 2.10 yang menunjukkan perbandingan dari geometri asli dioptimalkan pada bagian *bend radius*. Sehingga hasil *fatigue life* setelah dilakukan optimal geometrinya terlihat pada gambar 2.11.

**Gambar 2.8** Perbandingan geometri asli dan optimal^[1]

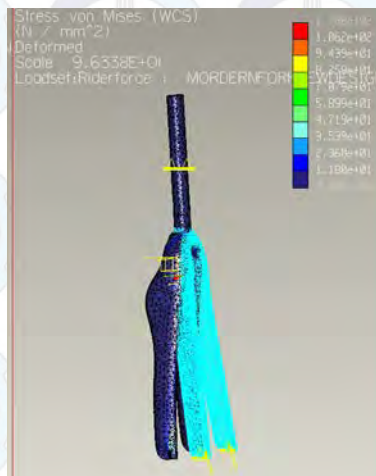


Gambar 2.9 Nilai *fatigue life* optimal geometri^[1]

Arran Crosland dengan judul *Stress Analysis on The Road Racing Fork Test*, menganalisa *racing fork* untuk mengetahui berapa tegangan dan deformasi yang terjadi, dengan menggunakan material *aluminium 2024 T4*. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian static dengan pemberian beban sebesar 1000N terhadap sumbu X dan batasan lainnya sumbu Y dan Z *free* sedangkan sumbu X dijadikan *fix*. Dimana hasil tegangan maksimum yang didapatkan adalah $1.037e+02\text{Pa}$ dan deformasi 10%. Sedangkan pada gambar 2.12 dan 2.13 menunjukkan lokasi tegangan dan deformasi yang terjadi^[2].



Gambar 2.10 Tegangan yang terjadi pada *road racing fork*^[2]

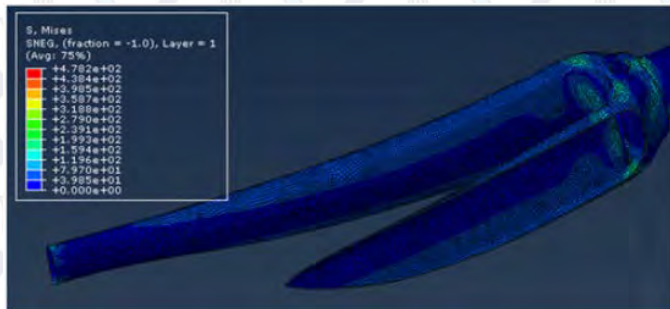


Gambar 2.11 Deformasi yang terjadi pada *road racing fork*^[2]

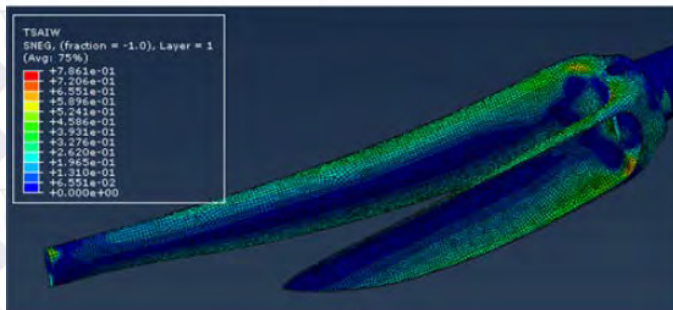
Ahn dan Hyunchul dengan judul *Development of Carbon Composite Bike Fork Using Finite Element Analysis and a New Pressure Molding Process*, menggunakan teori Tsai-Wu dan standar CEN 14781 dengan pemberian gaya sebesar 620 keatas stress yang didapatkan tidak cukup besar dan faktor tsai-wu



berada dibawah 0,78 dan posisi titik stress yang terjadi yaitu pada *crown-leg joint area* dan juga pada *blade fork* bagian atas, seperti terlihat pada gambar 2.14^[3].



(a)



(b)

Gambar 2.12 Distribusi (a) *stress* dan (b) *Tsai-Wu factors*^[3]



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penyelesaian tugas akhir ini, disusun sejumlah tahapan untuk melakukan analisa guna mencapai tujuan yang diharapkan. Tahapan tersebut diberikan kedalam diagram alir seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir

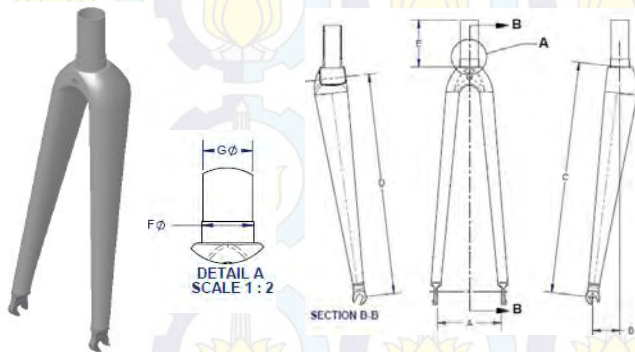


Metodologi penyusunan tugas akhir ini yaitu dimulai dengan studi literatur mengenai *fork bicycle*, merumuskan permasalahan, mengumpulkan data-data tentang *fork bicycle*, memodelkan struktur *fork bicycle* dengan *Solidworks* 2012, untuk selanjutnya disimulasikan dengan *software* berbasis metode elemen hingga. Tahap terakhir yaitu evaluasi hasil simulasi dan membuat kesimpulan.

Studi literatur merupakan tahap pertama yang dilakukan untuk meningkatkan wawasan dan landasan teori yang berkaitan dalam tugas akhir ini. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data sebagai penunjang tugas akhir, baik melalui media cetak berupa *text book* atau *handbook*, maupun *soft file* yang berupa *e-book* atau media elektronik (internet).

Adapun topik yang dicari yaitu seputar sepeda dan bagian – bagiannya. Sistem pengujian *fatigue racing bicycle*, terutama pengujian pada *fork*. Untuk mendukung tugas akhir ini diperlukan data – data yang valid sebagai landasan penelitian. Sehingga diperlukan referensi seperti jurnal ilmiah, maupun hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan tugas akhir yang diangkat.

Spesifikasi *fork racing bicycle* dijelaskan pada gambar 3.2 dan tabel 3.1 menjelaskan spesifikasi umum *fork racing bicycle*. Sedangkan tabel 3.2 dan 3.3 menjelaskan material propertiesnya, dimana jenis material yang digunakan yaitu AISI 4130 dan AA 6061 T6 dengan model propertiesnya menggunakan *structural linear elastic isotropic*. Serta variasai ketebalan yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu 1.4, 1.6 dan 1.8 mm. Sehingga pemodelan pengujian yang dilakukan yaitu sebanyak 6 variasi.



Gambar 3.2 Spesifikasi *fork racing bicycle*

Tabel 3.1 Dimensi *fork racing bicycle*

Letter	Descreption	Dimintions
A	<i>Drop Out Spacing</i>	100
B	<i>Rake Distance</i>	45
C	<i>Axle To Crown</i>	375
D	<i>Brake Hole Distance</i>	355
E	<i>Steer Tube Length</i>	300
F	<i>Crown Race Diameter</i>	30,2
G	<i>Steer Tube Diameter</i>	28,6

Tabel 3.2 Property *AISI 4130*

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.05e+011	N/m ²
Poisson's ratio	0.285	N/A
Shear Modulus	8e+010	N/m ²
Density	7850	kg/m ³
Tensile Strength	731000000	N/m ²
Yield Strength	460000000	N/m ²
Thermal Conductivity	42.7	W/(m·K)
Specific Heat	477	J/(kg·K)
Fatigue Strength	496.8	Mpa

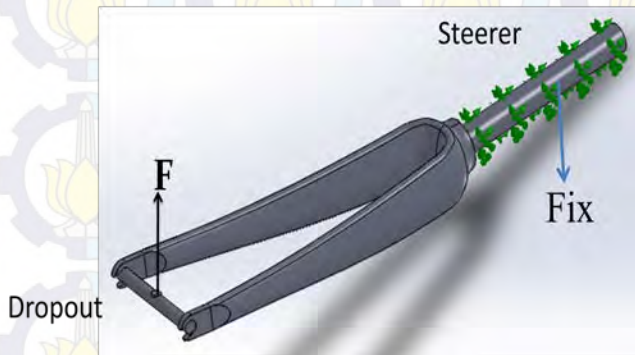
**Tabel 3.3** *Property AA 6061 T6*

Property	Value	Units
Elastic Modulus	6.900000067e+010	N/m ²
Poisson's ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	2.600000013e+010	N/m ²
Mass Density	2700	kg/m ³
Tensile Strength	310000002.1	N/m ²
Yield Strength	275000000.9	N/m ²
Thermal Conductivity	166.9	W/(m·K)
Specific Heat	896	J/(kg·K)
Fatigue Strength	96.5	MPa

3.2 *Boundary Conditions dan Loads*

3.2.1 *Static Bending Test*

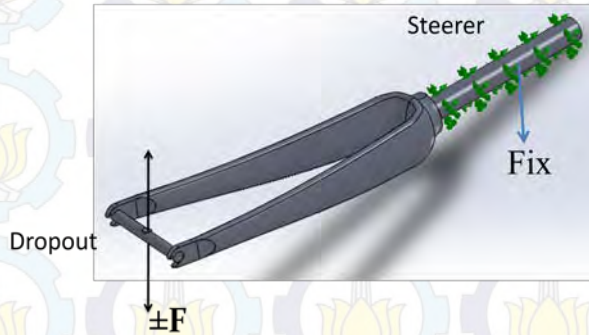
Boundary conditions serta pembebanan yang terjadi saat melakukan simulasi menggunakan *software* dapat dilihat pada gambar 3.3, di mana *steerer* di anggap sebagai *fix condition*. Pada *drop out* terdapat beban secara statis sebesar *F*.

**Gambar 3.3** *Boundary conditions dan loads static bending test*



3.2.2 Fatigue Bending Test

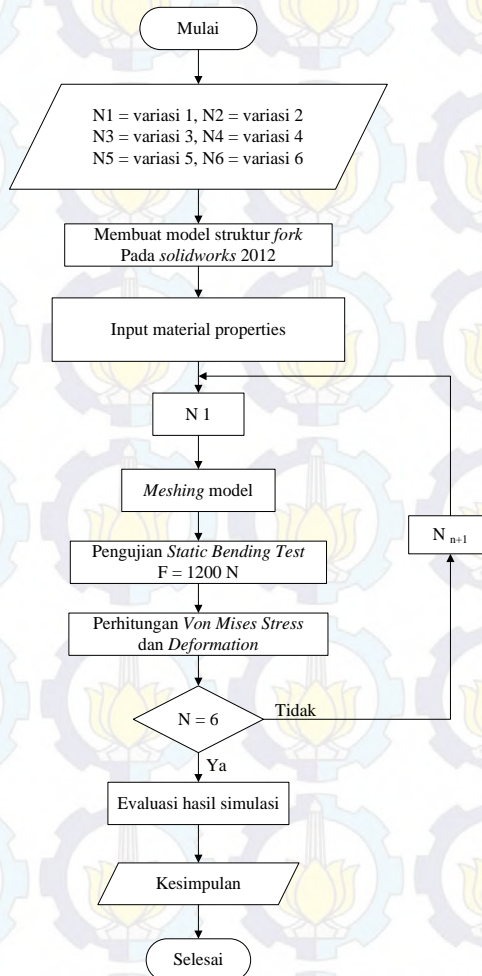
Boundary conditions serta pembebanan yang terjadi saat melakukan simulasi menggunakan *software* dapat dilihat pada gambar 3.4, di mana *steerer* di anggap sebagai *fix condition*. Pada *drop out* terdapat beban secara dinamis sebesar F .



Gambar 3.4 *Boundary conditions* dan *loads fatigue bending test*

3.3 Diagram Alir Simulasi

Pengujian *static bending test* dilakukan berdasarkan standar CEN 14781 *racing bicycle*. Dimana besarnya beban pengujian yaitu sebesar 1200 N dengan menggunakan peralatan atau secara mekanisme. Dalam simulasi pengujian ini, disusun sejumlah tahapan untuk melakukan analisa guna mencapai hasil simulasi yang diharapkan. Tahapan tersebut diberikan kedalam diagram alir seperti pada gambar 3.5.

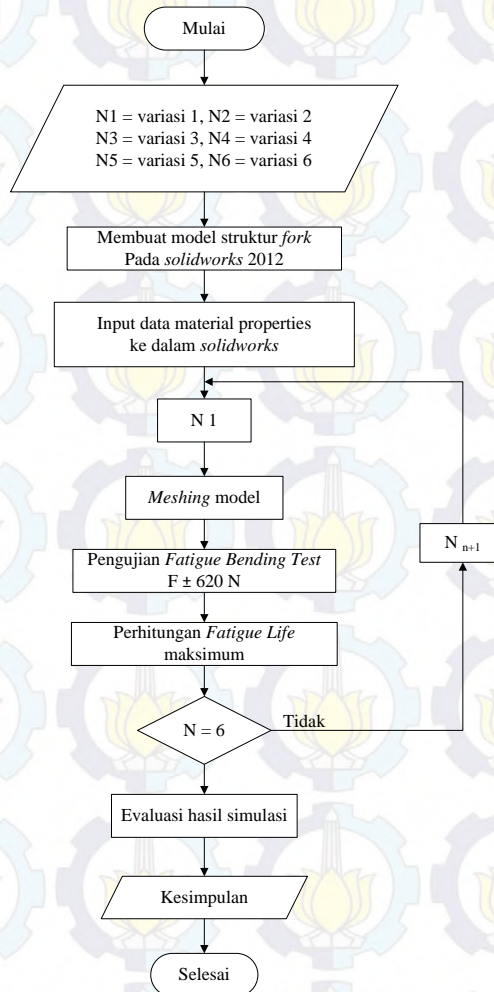


Gambar 3.5 Diagram alir simulasi *static bending test*

Pengujian *fatigue bending test* dilakukan berdasarkan standar CEN 14781 *racing bicycle*. Pengujian dilakukan secara pembebanan dinamis sebesar ± 620 N untuk 100000 siklus pengujian dengan hasil frekuensi uji tidak melebihi 25 Hz, secara



mekanisme ataupun menggunakan peralatan. Dalam simulasi pengujian ini, disusun sejumlah tahapan untuk melakukan analisa guna mencapai hasil simulasi yang diharapkan. Tahapan tersebut diberikan kedalam diagram alir seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram alir simulasi *fatigue bending test*



3.4 Desain Eksperimen

Dalam pengujian *static* dan *fatigue fork racing bicycle* dilakukan dengan memvariasikan jenis material dan ketebalan material. Dimana pengujian dari simulasi *static* yaitu akan memperoleh hasil analisa yaitu *von mises stress* dan *deformation* pada *fork*.

- a. *Von mises stress* adalah tegangan tarik uniaxial yang dapat menghasilkan energy distorsi yang sama dengan yang dihasilkan oleh kombinasi tegangan yang bekerja.
- b. *Deformation* adalah transformasi sebuah benda/material dari kondisi semula ke kondisi terkini setelah dilakukan pengujian.

Sedangkan pengujian dari simulasi *fatigue* didapatkan hasil analisa yaitu *safety factor*, *damage* dan *life*.

- a. *Safety factor* adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen mesin terjamin keamanannya dengan dimensi yang minimum. Apabila nilai dari *safety factor* kurang dari 1 maka terjadi indikasi kegagalan (*failure*) sebelum tercapainya *design life*.
- b. *Damage* adalah perbandingan antara *design life* dengan *available life*.
- c. *Life* adalah sebuah siklus maksimum dan minimum sampai terjadinya kegagalan (*failure*) dari sebuah model pengujian.

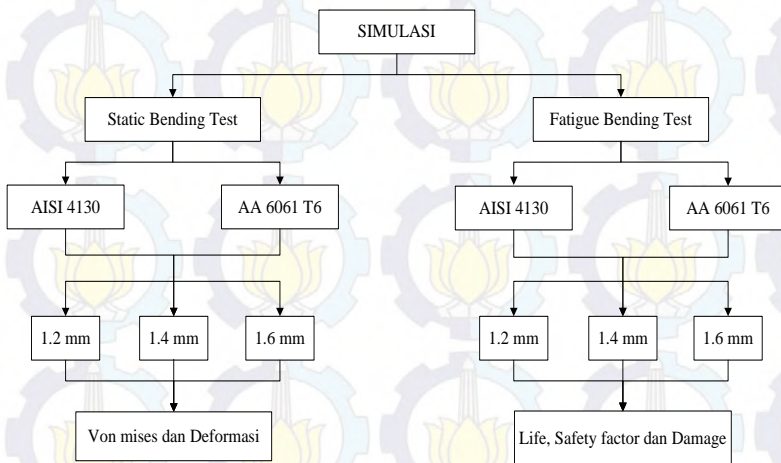
3.5 Evaluasi Hasil dan Kesimpulan

Setelah disimulasi tiap model variasinya, maka hasil simulasi tersebut dievaluasi pada daerah dan tegangan kritis yang terjadi. Selanjutnya yaitu mengevaluasi dan menganalisa umur (siklus) pada tiap model variasi. Tahap terakhir yaitu memberikan kesimpulan dan membandingkan hasil simulasi tiap variasi *static* dan *fatigue bending test*.



BAB IV HASIL DAN ANALISA

Setelah dilakukan simulasi terhadap *fork racing bicycle* dengan *static* dan *fatigue bending test* menggunakan standar CEN 14781, telah didapatkan hasil berupa distribusi maupun titik maksimum dan minimum dari *equivalent alternating stress*, *deformation*, *life*, *safety factor* dan *damage fork racing bicycle*. Berikut ini merupakan hasil yang didapatkan setelah dilakukan langkah – langkah simulasi dengan SOLIDWORKS. Gambar 4.1 menunjukkan skema simulasi yang dilakukan terhadap analisa dan variasi.



Gambar 4.1 Skema simulasi penelitian

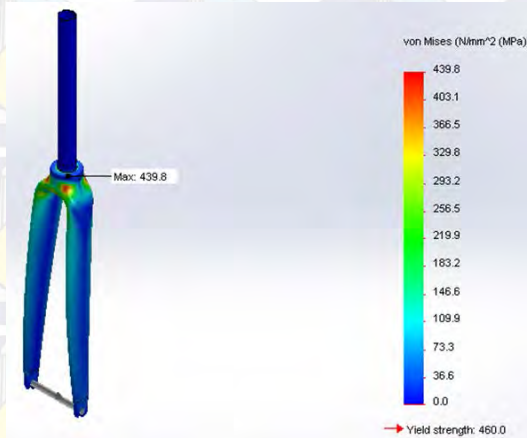
4.1 Hasil Simulasi *Static Bending Test*

4.1.1 *Static Bending Test Fork Variasi 1*

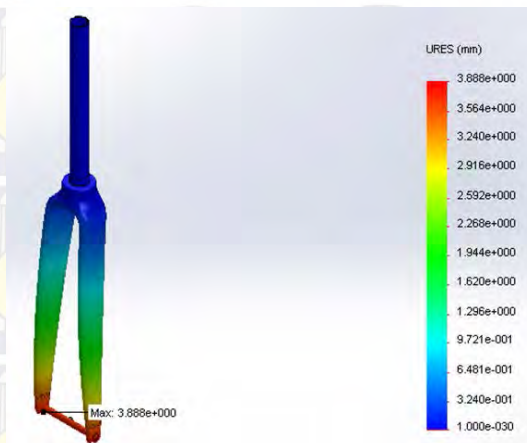
Dengan ketebalan material 1,2 mm dan jenis material AISI 4130 didapatkan tegangan maksimum sebesar 439,8 MPa yang terjadi pada *blade fork* bagian atas tampak dari depan *fork*



dan deformasi maksimal sebesar 3,88 mm yang terjadi pada ujung *dropout fork* seperti terlihat pada gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Tegangan pada *fork* variasi 1

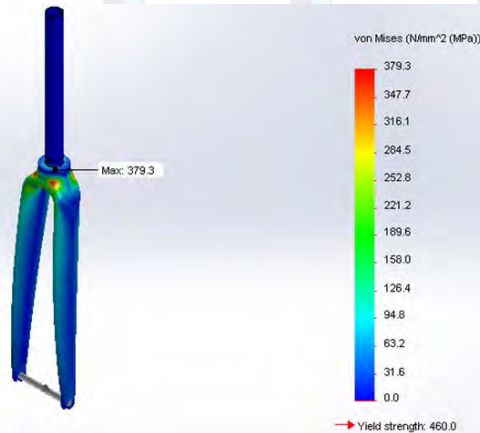


Gambar 4.3 Deformasi pada *fork* variasi 1

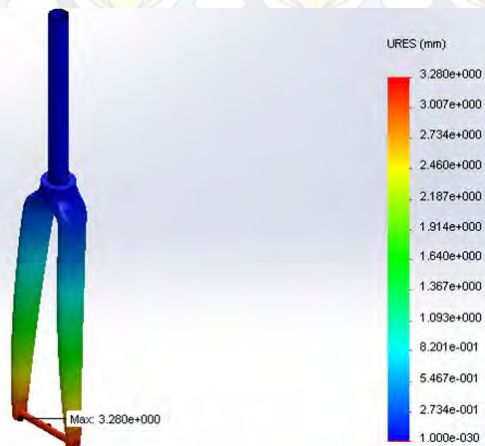


4.1.2 Static Bending Test Fork Variasi 2

Dengan ketebalan material 1,4 mm dan jenis material AISI 4130 didapatkan tegangan maksimum sebesar 379,3 MPa yang terjadi pada *blade fork* dan deformasi maksimal sebesar 3,28 mm yang terjadi pada ujung *dropout fork* seperti terlihat pada gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.4 Tegangan pada *fork* variasi 2

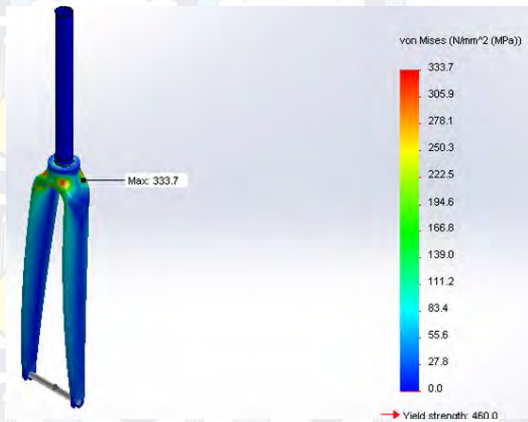


Gambar 4.5 Deformasi pada *fork* variasi 2

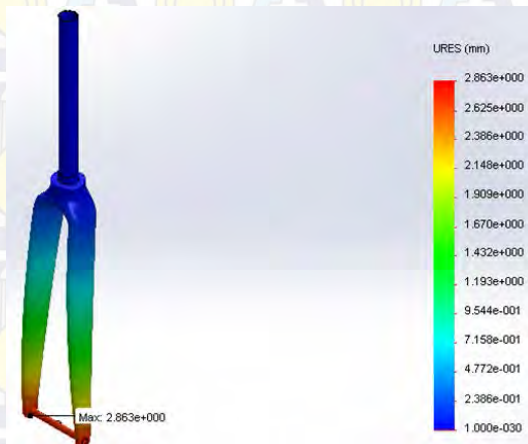


4.1.3 Static Bending Test Fork Variasi 3

Sedangkan untuk ketebalan material 1,6 mm dan jenis bahan AISI 4130 didapatkan tegangan maksimum sebesar 333,7 MPa yang terjadi pada *blade fork* bagian atas dan deformasi maksimal sebesar 2,86 mm yang terjadi pada ujung *dropout fork* seperti terlihat pada gambar 4.6 dan 4.7.



Gambar 4.6 Tegangan pada *fork* variasi 3

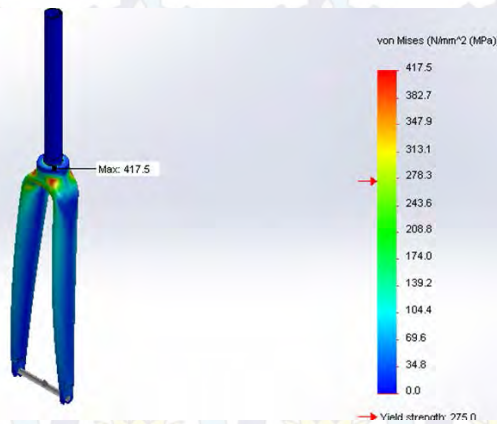


Gambar 4.7 Deformasi pada *fork* variasi 3

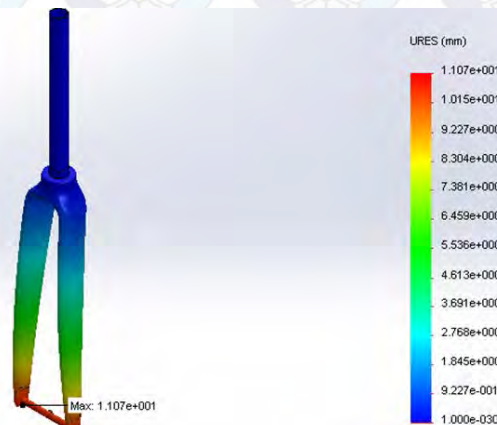


4.1.4 Static Bending Test Fork Variasi 4

Untuk variasi 4 dengan ketebalan material 1,2 dan jenis material yang berbeda dengan variasi sebelumnya yaitu jenis AA 6061 T6 didapatkan tegangan maksimum sebesar 417,5 Mpa yang terjadi pada *blade fork* dan deformasi maksimal sebesar 11,07 mm yang terjadi pada ujung *dropout fork* seperti terlihat pada gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.8 Tegangan pada *fork* variasi 4

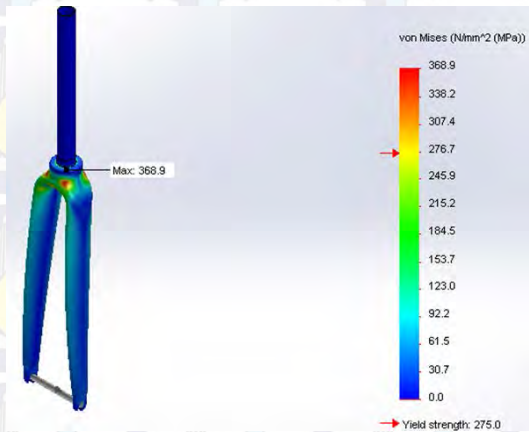


Gambar 4.9 Deformasi pada *fork* variasi 4

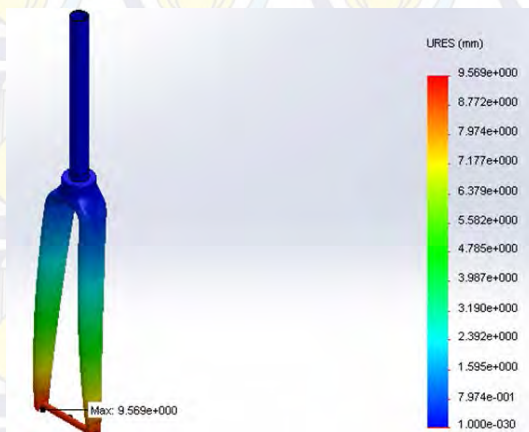


4.1.5 Static Bending Test Fork Variasi 5

Dengan ketebalan material 1,4 mm dan jenis material AA 6061 T6 didapatkan tegangan maksimum sebesar 368,9 MPa yang terjadi pada *blade fork* dan deformasi maksimal sebesar 9,56 mm yang terjadi pada ujung *dropout fork* seperti terlihat pada gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 4.10 Tegangan pada *fork* variasi 5

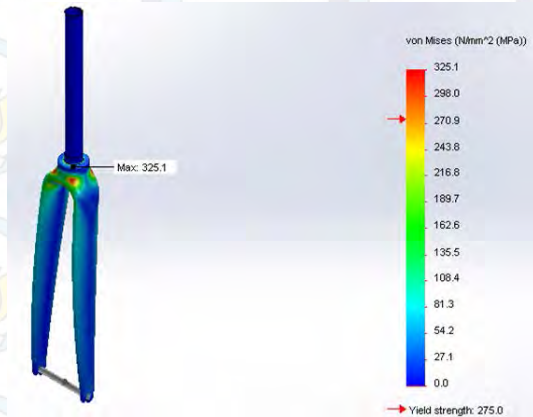


Gambar 4.11 Deformasi pada *fork* variasi 5

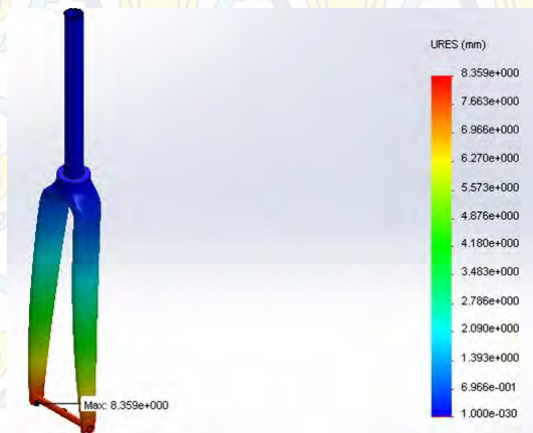


4.1.6 Static Bending Test Fork Variasi 6

Sedangkan untuk ketebalan material 1,6 mm dan jenis bahan AA 6061 T6 didapatkan tegangan maksimum sebesar 325,1 yang terjadi pada *blade fork* dan deformasi maksimal sebesar 8,35 mm yang terjadi pada ujung *dropout fork* seperti terlihat pada gambar 4.12 dan 4.13.



Gambar 4.12 Tegangan pada *fork* variasi 6



Gambar 4.13 Deformasi pada *fork* variasi 6



4.2 Hasil Simulasi *Fatigue Bending Test*

4.2.1 *Fatigue Bending Test Fork Variasi 1*

Simulasi yang pertama adalah untuk variasi 1 pada *fork* dengan ketebalan material 1,2 mm dan jenis material AISI 4130. Perlakuan yang diberikan pada *fork* menggunakan standar CEN 14781 yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dengan gaya sebesar ± 620 N. Hasil simulasi pada variasi 1 yaitu meliputi *life*, *safety factor* dan *damage* seperti terlihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil simulasi *fatigue bending test* variasi 1

Data	Nilai
<i>Life</i> minimum	432.000 <i>cycles</i>
<i>Safety factor</i> minimum	1,286
<i>Damage</i> maksimum	23,15

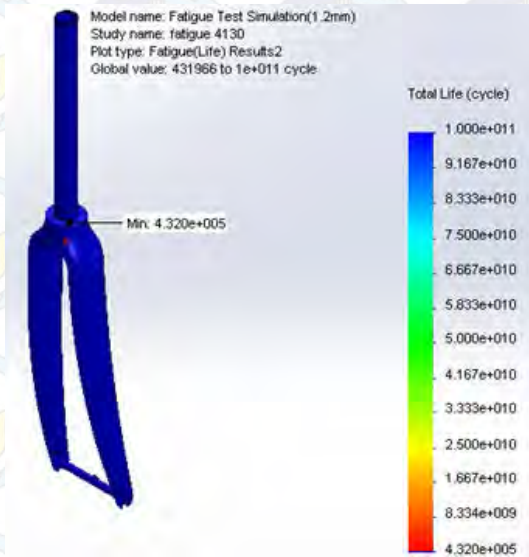
Life yang terjadi pada *fork* variasi 1 dapat dilihat pada gambar 4.14. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa hampir seluruh bagian *fork* berwarna biru dengan nilai *life* yaitu 1.000.000 *cycles* dan ada juga titik minimum *life* yang berwarna merah terdapat pada *blade fork* bagian atas tampak dari depan *fork* dengan nilai *life* yaitu 432.000 *cycles* seperti terlihat pada gambar 4.15. Hal ini menunjukkan *fork* aman dan memiliki siklus diatas 432.000 *cycles*.

Safety factor yang terjadi pada variasi 1 dapat dilihat pada gambar 4.16. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa *safety factor* minimum bernilai 1,286 yang terletak pada bagian *blade fork* sama halnya seperti *life fork* diatas dengan distribusi warna merah. Pada bagian *blade fork* memiliki distribusi mulai berwarna merah, *orange*, dan biru namun masih memiliki nilai di atas nilai minimum. Sedangkan pada *steer fork* memiliki distribusi berwarna biru, dimana merupakan nilai maksimalnya.

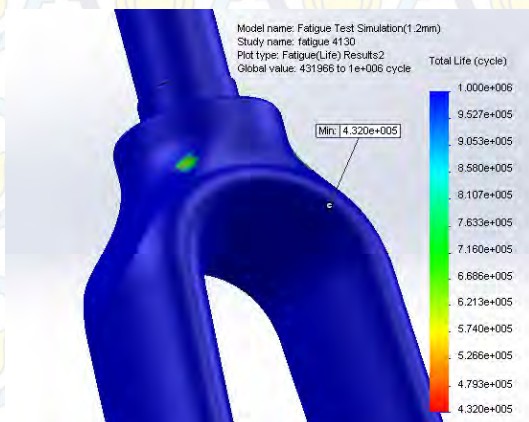
Damage yang terjadi pada variasi 1 dapat dilihat pada gambar 4.17. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa hampir seluruh bagian *fork* berwarna biru dengan nilai *damage* 0,0001. Sedangkan pada *blade fork* bagian atas sama halnya dengan titik



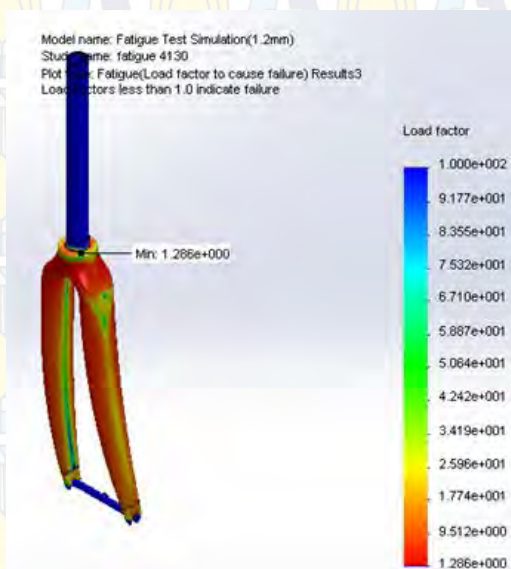
minimum *life fork* terdapat sebagian berwarna merah dengan nilai *damage* 20,74.



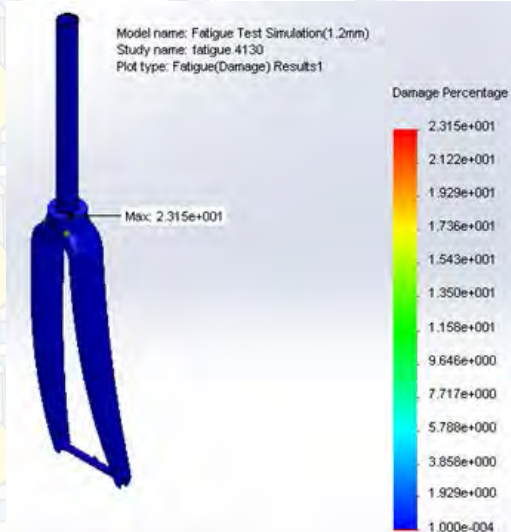
Gambar 4.14 *Life fork* variasi 1



Gambar 4.15 Lokasi titik minimum *life fork* variasi 1



Gambar 4.16 *Safety factor fork variasi 1*



Gambar 4.17 *Damage fork variasi 1*



4.2.2 *Fatigue Bending Test Fork Variasi 2*

Simulasi yang kedua adalah untuk variasi 2 pada *fork* dengan ketebalan material 1,4 mm dan jenis material AISI 4130. Perlakuan yang diberikan pada *fork* adalah menggunakan standar CEN 14781 yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dengan gaya sebesar ± 620 N. Hasil simulasi pada variasi 2 yaitu meliputi *life*, *safety factor* dan *damage* seperti terlihat pada tabel 4.2.

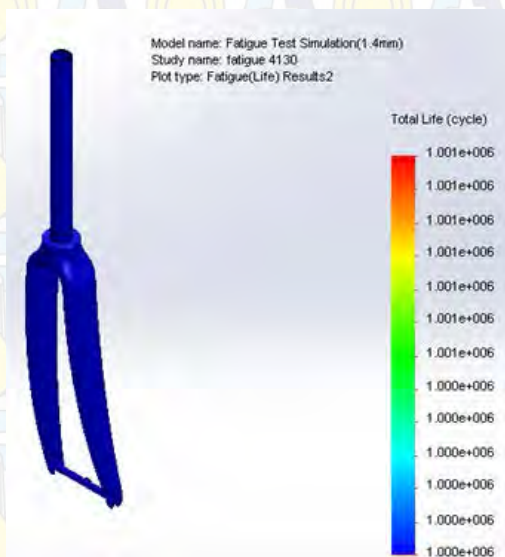
Tabel 4.2 Hasil simulasi *fatigue bending test* variasi 2

Data	Nilai
<i>Life</i> minimum	1.000.000 <i>cycles</i>
<i>Safety factor</i> minimum	1,497
<i>Damage</i> maksimum	10

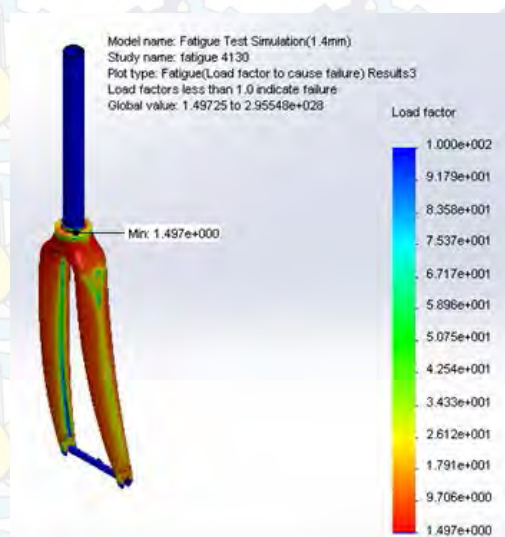
Life yang terjadi pada *fork* variasi 2 dapat dilihat pada gambar 4.18. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa seluruh bagian *fork* berwarna biru dengan nilai *life* yaitu 1.000.000 *cycles*. Hal ini menunjukkan *fork* aman dan memiliki siklus diatas 1.000.000 *cycles*. Nilai tersebut merupakan batas *fatigue (fatigue limit)* dari S-N *curve* dimana apabila *stress* kurang dari *fatigue limit* maka nilai *life* yang dihasilkan adalah tak terhingga untuk material *steel*.

Safety factor yang terjadi pada variasi 2 dapat dilihat pada gambar 4.19. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa *safety factor* minimum bernilai 1,497 yang terletak pada lokasi *blade fork* bagian atas tampak depan seperti terlihat pada gambar 4.20. Pada bagian *blade fork* memiliki distribusi mulai dari berwarna merah, *orange* dan biru namun masih memiliki nilai di atas nilai minimum. Sedangkan pada *steer fork* memiliki distribusi berwarna biru, dimana merupakan nilai maksimalnya.

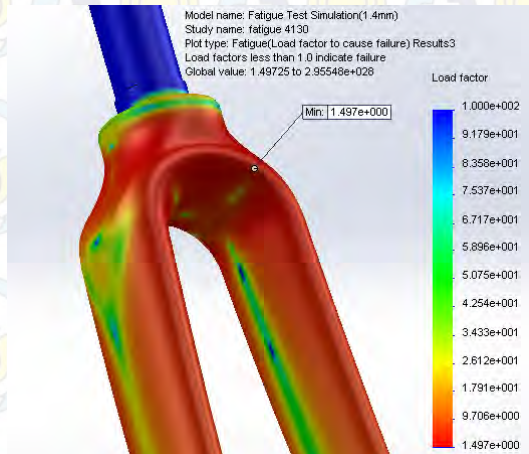
Damage yang terjadi pada variasi 2 dapat dilihat pada gambar 4.21. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa seluruh bagian *fork* berwarna biru dengan nilai *damage* 10. Hal ini menunjukkan bahwa *fork* memiliki nilai *available life* sama dengan *design life*.



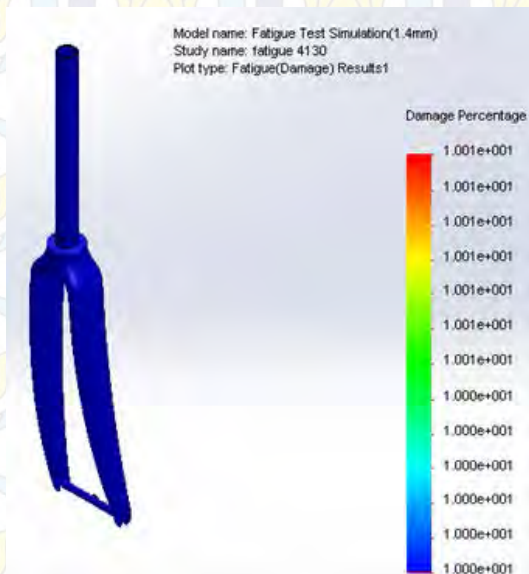
Gambar 4.18 *Life fork variasi 2*



Gambar 4.19 *Safety factor fork variasi 2*



Gambar 4.20 Lokasi titik minimum *safety factor* variasi 2



Gambar 4.21 *Damage fork* variasi 2



4.2.3 *Fatigue Bending Test Fork Variasi 3*

Simulasi yang kedua adalah untuk variasi 3 pada *fork* dengan ketebalan material 1,6 mm dan jenis material AISI 4130. Perlakuan yang diberikan pada *fork* adalah menggunakan standar CEN 14781 yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dengan gaya sebesar ± 620 N. Hasil simulasi pada variasi 2 yaitu meliputi *life*, *safety factor* dan *damage* seperti terlihat pada tabel 4.3.

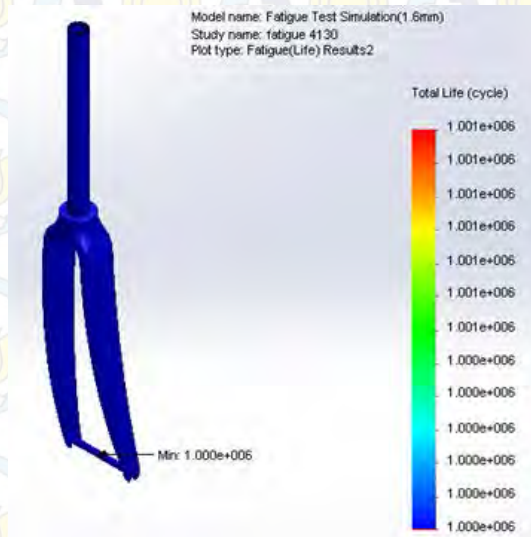
Tabel 4.3 Hasil simulasi *fatigue bending test* variasi 3

Data	Nilai
<i>Life</i> minimum	1.000.000 <i>cycles</i>
<i>Safety factor</i> minimum	1,674
<i>Damage</i> maksimum	10

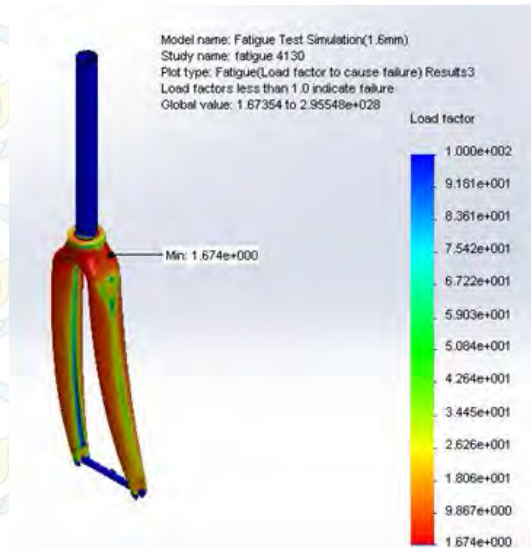
Life yang terjadi pada *fork* variasi 3 dapat dilihat pada gambar 4.22. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa seluruh bagian *fork* berwarna biru dengan nilai *life* yaitu 1.000.000 *cycles*. Hal ini menunjukkan *fork* aman dan memiliki siklus diatas 1.000.000 *cycles*. Nilai tersebut merupakan batas *fatigue* (*fatigue limit*) dari S-N *curve* dimana apabila *stress* kurang dari *fatigue limit* maka nilai *life* yang dihasilkan adalah tak terhingga untuk material *steel*.

Safety factor yang terjadi pada variasi 3 dapat dilihat pada gambar 4.23. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa *safety factor* minimum bernilai 1,674 yang terletak di bagian *blade fork* seperti terlihat pada gambar 4.24. Pada bagian *blade fork* memiliki distribusi mulai dari berwarna merah, orange dan biru namun masih memiliki nilai di atas nilai minimum. Sedangkan pada *steer fork* memiliki distribusi berwarna biru, dimana merupakan nilai maksimalnya.

Damage yang terjadi pada variasi 3 dapat dilihat pada gambar 4.25. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa seluruh bagian *fork* berwarna biru dengan nilai *damage* 10. Hal ini menunjukkan bahwa *fork* memiliki nilai *available life* sama dengan *design life*.



Gambar 4.22 *Life fork variasi 3*



Gambar 4.23 *Safety factor fork variasi 3*



4.2.4 *Fatigue Bending Test Fork Variasi 4*

Simulasi yang kedua adalah untuk variasi 4 pada *fork* dengan ketebalan material 1,2 mm dan jenis material AA 6061 T6. Perlakuan yang diberikan pada *fork* adalah menggunakan standar CEN 14781 yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dengan gaya sebesar ± 620 N. Hasil simulasi pada variasi 4 yaitu meliputi *life*, *safety factor* dan *damage* seperti terlihat pada tabel 4.4.

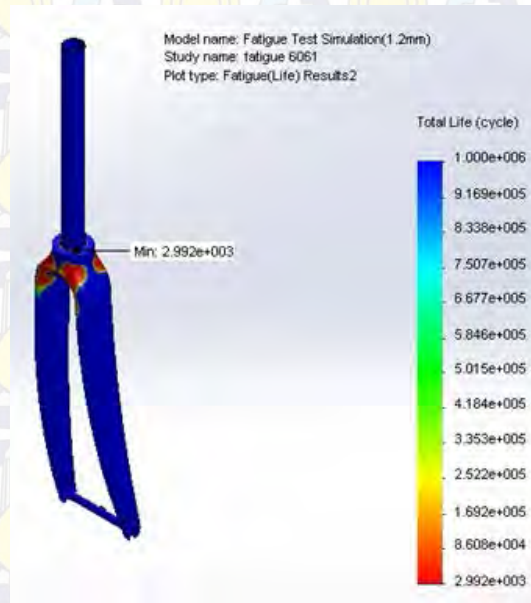
Tabel 4.4 Hasil simulasi *fatigue bending test* variasi 4

Data	Nilai
<i>Life minimum</i>	2.992 <i>cycles</i>
<i>Safety factor minimum</i>	0,4682
<i>Damage maksimum</i>	3.343

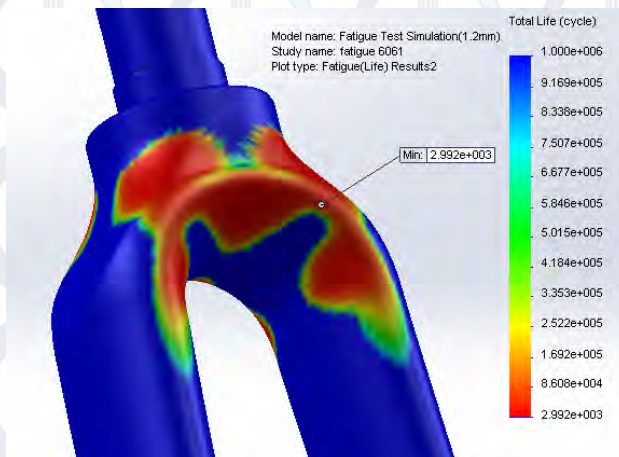
Life yang terjadi pada *fork* variasi 4 dapat dilihat pada gambar 4.26. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa hampir seluruh bagian *fork* berwarna biru dengan nilai *life* yaitu 1.000.000 *cycles* dan ada juga bagian yang berwarna merah terdapat pada *blade fork* dengan nilai *life* yaitu 2.992 *cycles* seperti terlihat pada gambar 4.27. Hal ini menunjukkan *fork* tidak aman, dimana batas *life* yang diijinkan minimum 100.000 *cycles*.

Safety factor yang terjadi pada variasi 4 dapat dilihat pada gambar 4.28. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa *safety factor* minimum bernilai 0,4682 yang terletak pada bagian *blade fork* sama halnya seperti lokasi titik minimum *life fork* diatas. Pada bagian seluruh *blade fork* memiliki distribusi dari berwarna merah, *orange* dan biru. Sedangkan pada *steer fork* memiliki distribusi berwarna biru, dimana merupakan nilai maksimalnya.

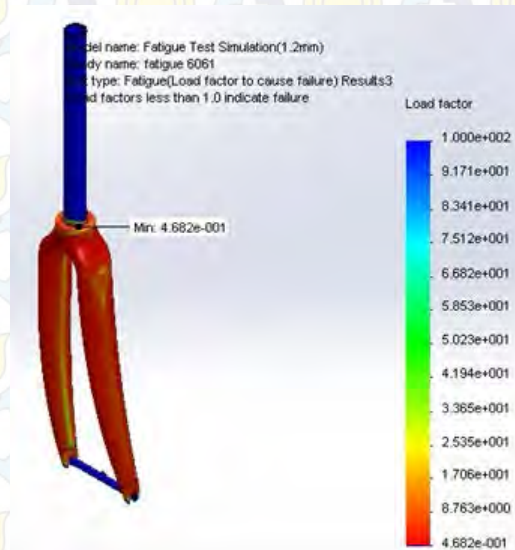
Damage yang terjadi pada variasi 4 dapat dilihat pada gambar 4.29. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa hampir seluruh bagian *fork* berwarna biru dengan nilai *damage* 10. Sedangkan pada bagian *blade fork* ada sebagian kecil memiliki warna merah dengan nilai *damage* 3.343.



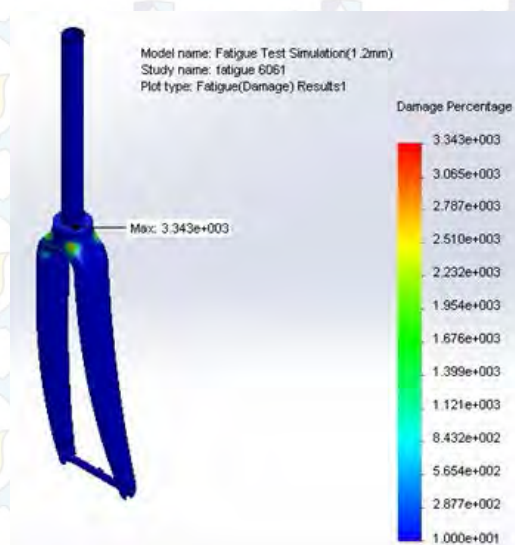
Gambar 4.26 *Life fork* variasi 4



Gambar 4.27 Lokasi titik minimum *life fork* variasi 4



Gambar 4.28 Safety factor fork variasi 4



Gambar 4.29 Damage fork variasi 4



4.2.5 *Fatigue Bending Test Fork Variasi 5*

Simulasi yang kedua adalah untuk variasi 5 pada *fork* dengan ketebalan material 1,4 mm dan jenis material AA 6061 T6. Perlakuan yang diberikan pada *fork* adalah menggunakan standar CEN 14781 yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dengan gaya sebesar ± 620 N. Hasil simulasi pada variasi 5 yaitu meliputi *life*, *safety factor* dan *damage* seperti terlihat pada tabel 4.5.

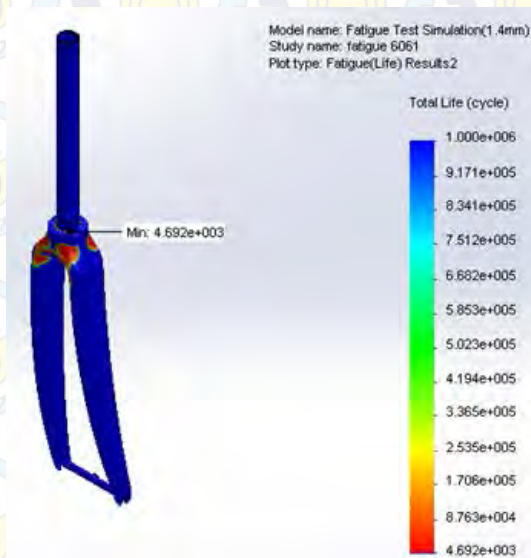
Tabel 4.5 Hasil simulasi *fatigue bending test* variasi 5

Data	Nilai
<i>Life</i> minimum	4.692 <i>cycles</i>
<i>Safety factor</i> minimum	0,5278
<i>Damage</i> maksimum	2.127

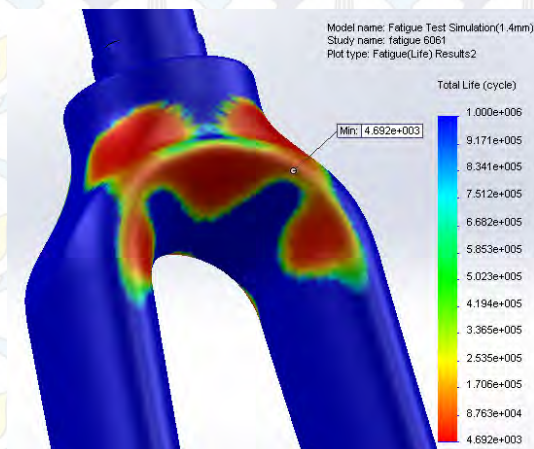
Life yang terjadi pada *fork* variasi 5 dapat dilihat pada gambar 4.30. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa hampir seluruh bagian *fork* berwarna biru dengan nilai *life* yaitu 1.000.000 *cycles* dan ada juga bagian yang berwarna merah terdapat di lokasi *blade fork* dengan nilai *life* yaitu 4.692 *cycles* seperti terlihat pada gambar 4.31. Hal ini menunjukkan *fork* tidak aman, dimana batas *life* yang diijinkan minimum 100.000 *cycles*.

Safety factor yang terjadi pada variasi 5 dapat dilihat pada gambar 4.32. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa *safety factor* minimum bernilai 0,527 yang terletak pada bagian *blade fork* sama halnya seperti lokasi titik minimum *life fork* diatas. Pada bagian seluruh *blade fork* memiliki distribusi berwarna merah. Sedangkan pada *steer fork* memiliki distribusi berwarna biru, dimana merupakan nilai maksimalnya.

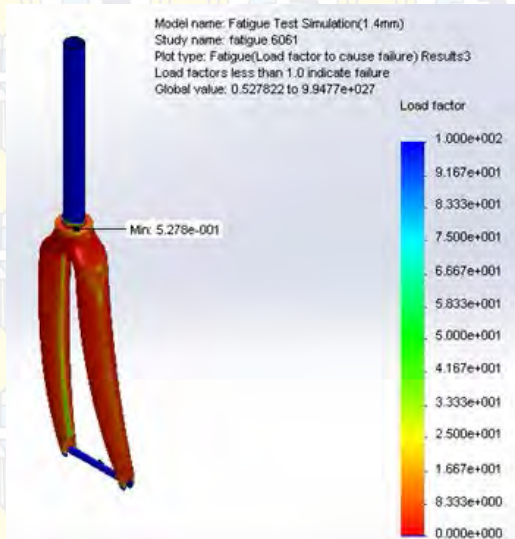
Damage yang terjadi pada variasi 5 dapat dilihat pada gambar 4.33. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa hampir seluruh bagian *fork* berwarna biru dengan nilai *damage* 10. Sedangkan pada bagian atas *blade fork* sebagian kecil memiliki warna merah dengan nilai *damage* 2.131.



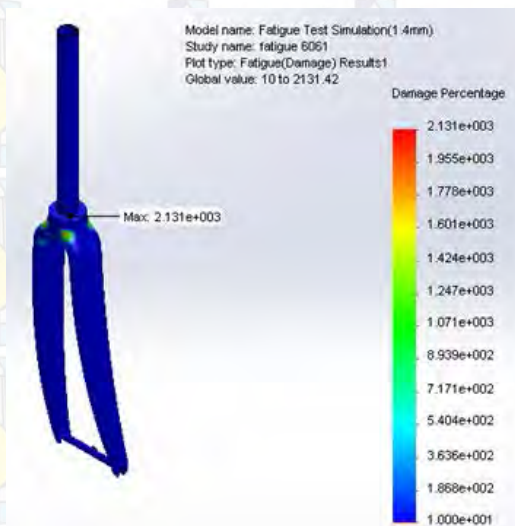
Gambar 4.30 *Life fork variasi 5*



Gambar 4.31 Lokasi titik minimum *life fork variasi 5*



Gambar 4.32 *Safety factor fork variasi 5*



Gambar 4.33 *Damage fork variasi 5*



4.2.6 *Fatigue Bending Test Fork Variasi 6*

Simulasi yang kedua adalah untuk variasi 6 pada *fork* dengan ketebalan material 1,6 mm dan jenis material AISI 4130. Perlakuan yang diberikan pada *fork* adalah menggunakan standar CEN 14781 yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dengan gaya sebesar ± 620 N. Hasil simulasi pada variasi 6 yaitu meliputi *life*, *safety factor* dan *damage* seperti terlihat pada tabel 4.6.

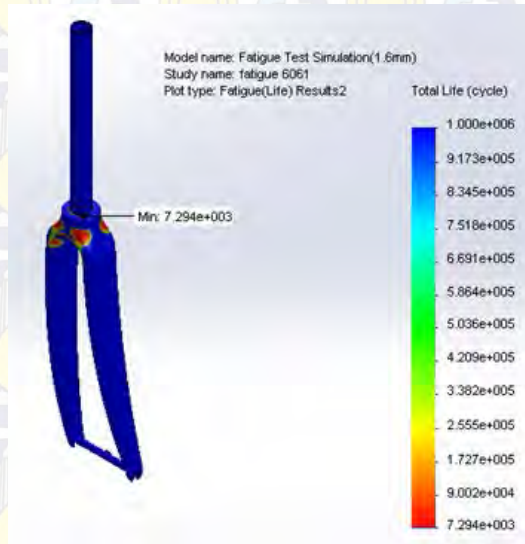
Tabel 4.6 Hasil simulasi *fatigue bending test* variasi 6

Data	Nilai
<i>Life</i> minimum	7.294 <i>cycles</i>
<i>Safety factor</i> minimum	0,5895
<i>Damage</i> maksimum	1.371

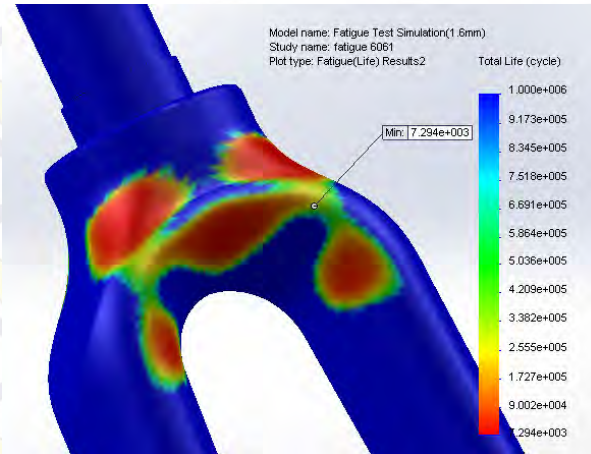
Life yang terjadi pada *fork* variasi 6 dapat dilihat pada gambar 4.34. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa hampir seluruh bagian *fork* berwarna biru dengan nilai *life* yaitu 1.000.000 *cycles* dan ada juga bagian yang berwarna merah terdapat di lokasi *blade fork* dengan nilai *life* yaitu 7.294 *cycles* seperti terlihat pada gambar 4.35. Hal ini menunjukkan *fork* tidak aman, dimana batas *life* yang diijinkan minimum 100.000 *cycles*.

Safety factor yang terjadi pada variasi 6 dapat dilihat pada gambar 4.36. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa *safety factor* minimum bernilai 0,5895 yang terletak pada bagian *blade fork*. Pada bagian seluruh *blade fork* memiliki distribusi merah, dengan memiliki nilai di bawah nilai minimum. Sedangkan pada *steer fork* memiliki distribusi berwarna biru, dimana merupakan nilai maksimalnya.

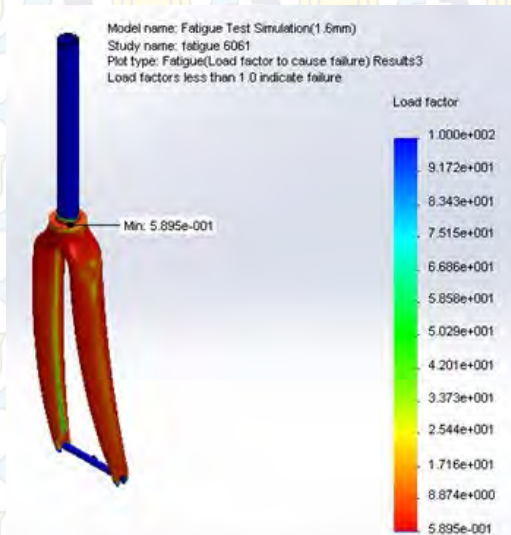
Damage yang terjadi pada variasi 6 dapat dilihat pada gambar 4.37. Dari simulasi didapatkan hasil bahwa hampir seluruh bagian *fork* berwarna biru dengan nilai *damage* 10 sedangkan pada bagian *blade fork* sebagian kecil memiliki warna merah dengan nilai *damage* 1.371.



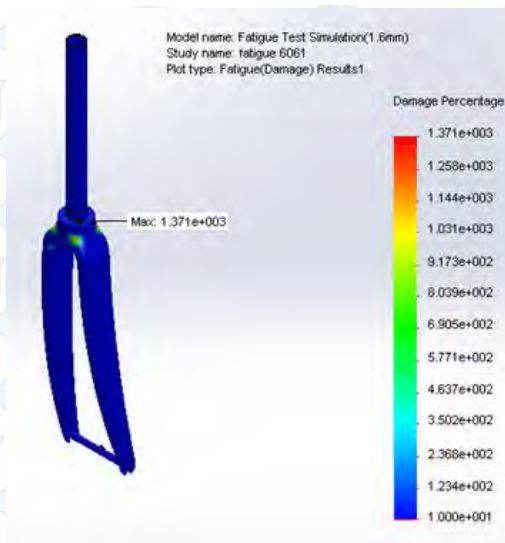
Gambar 4.34 *Life fork variasi 6*



Gambar 4.35 Lokasi titik minimum *life fork variasi 6*



Gambar 4.36 Safety factor fork variasi 6



Gambar 4.37 Damage fork variasi 6



4.3 Pembahasan Hasil Simulasi

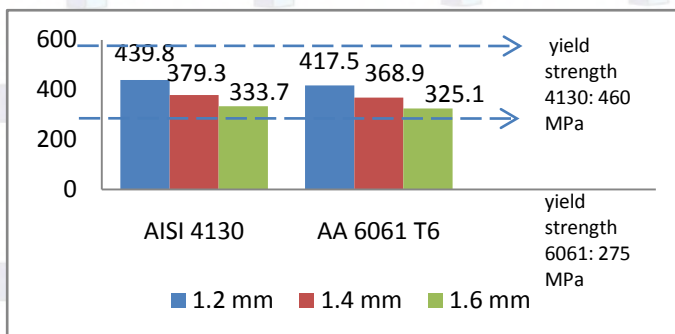
4.3.1 Analisa Perbandingan *Static Bending Test Fork*

Berdasarkan analisa yang dilakukan terhadap *racing fork bicycle* dengan menggunakan metode *static test* pada *software SOLIDWORKS* serta pengujian berdasarkan standar CEN 14781 didapatkan hasil perbandingan tegangan ekuivalen dan deformasi yang ditunjukkan pada tabel 4.7.

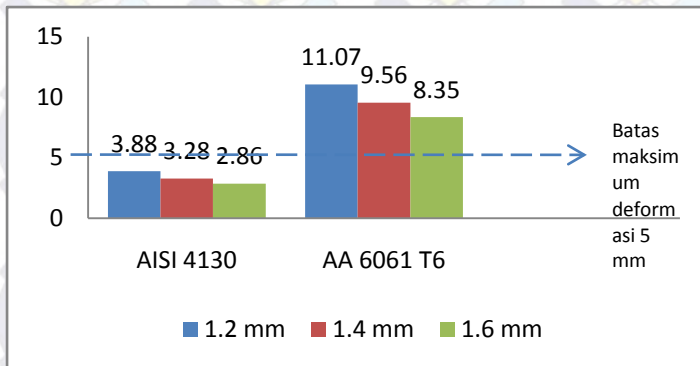
Tabel 4.7 Perbandingan hasil simulasi tegangan ekuivalen dan deformasi

Jenis Material	Variasi	Ketebalan Material (mm)	Von Mises Stress (MPa)	Deformation (mm)
AISI 4130	1	1,2	439,8	3,88
	2	1,4	379,3	3,28
	3	1,6	333,7	2,86
AA 6061 T6	4	1,2	417,5	11,07
	5	1,4	368,9	9,56
	6	1,6	325,1	8,35

Data – data pada tabel di atas apabila digrafikkan akan membentuk tren seperti pada gambar 4.38 dan 4.39 berikut :

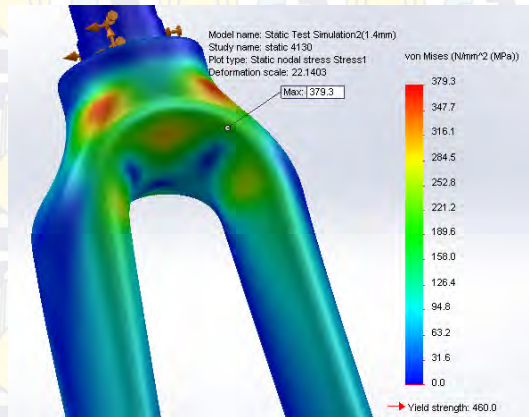


Gambar 4.38 Grafik tegangan ekuivalen terhadap variasi ketebalan dan jenis material

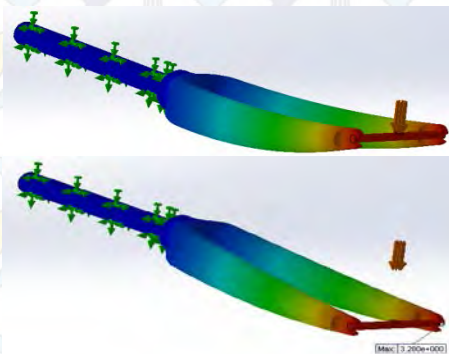


Gambar 4.39 Grafik total deformasi terhadap variasi ketebalan dan jenis material

Tabel dan grafik diatas untuk jenis material AISI 4130, menunjukkan perbedaan nilai tegangan yang terjadi cukup besar dimana nilai tegangan ekuivalen dari ketiga variasi ketebalan material adalah 439,8 MPa ($SF = 1,045$) untuk variasi 1, 379,3 MPa ($SF = 1,212$) untuk variasi 2 dan 333,7 MPa ($SF = 1,378$) untuk variasi 3. Sehingga kondisi struktur dari *fork* menunjukkan aman, dimana mengingat tegangan *yield strength* dari material adalah 430 MPa dan juga deformasi yang terjadi masih dalam batas deformasi maksimal yang diijinkan yaitu maksimal 5 mm. Untuk lokasi tegangan ekuivalen dan deformasi yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.40 dan 4.41.



Gambar 4.40 Lokasi titik maksimum tegangan ekuivalen



Gambar 4.41 Lokasi titik maksimum deformasi

Sedangkan untuk jenis material AA 6061 T6, perbedaan nilai tegangan yang terjadi cukup besar dimana tegangan ekuivalen dari ketiga variasi ketebalan material adalah 417,5 MPa ($SF = 0,658$) untuk variasi 4, 368,9 MPa ($SF = 0,745$) untuk variasi 5, dan 325,1 MPa ($SF = 0,845$) untuk variasi 6. Sehingga kondisi struktur dari *fork* menunjukkan tidak aman, dimana mengingat tegangan *yield strength* dari material adalah 275 MPa dan juga deformasi yang terjadi di atas batas deformasi yang diijinkan yaitu maksimal 5 mm. Untuk lokasi tegangan dan



deformasi yang terjadi yaitu sama dengan jenis material AISI 4130 diatas. Sehingga untuk meningkatkan nilai tegangan ekuivalen, bisa dilakukan dengan mengoptimasi geometri atau pertimbangan jenis aluminium yang digunakan.

Pada penelitian sebelumnya *Stress Analysis on The Road Racing Fork Test*, tegangan ekuivalen maksimum yang didapatkan sebesar 0.1037 MPa dan lokasi titik maksimumnya terjadi pada *dropout fork*, namun tegangan ekuivalen dominan terjadi pada *blade fork* bagian atas tampak belakang *fork* dan juga bagian *dropout fork*^[2]. Sehingga hasil tegangan ekuivalen simulasi *static bending test* diatas dibandingkan dengan penelitian sebelumnya sangat besar, dimana hal yang menyebabkan perbedaan tersebut yaitu dari penelitian sebelumnya pengujian dilakukan tidak didasarkan dengan standar – standar pengujian dalam *road racing bicycle test* yang ada, seperti besar gaya yang diberikan dan *boundary condition*. Namun lokasi *stress* yang terjadi dominan sama pada *blade fork* bagian atas, dikarenakan pemberian beban pada *dropout fork* dan *steer fork* dijadikan *fix* menyebabkan distribusi gaya yang paling besar terletak pada *blade fork* bagian atas yang terdekat terhadap bagian *steer fork* yang *fix*.

Lokasi *stress* dan *safety factor* yang terjadi konsisten pada satu lokasi seiring berubahnya jenis material dan ketebalhan material dalam pengujian. Hasil nilai tegangan ekuivalen dibawah *yield strenght* yaitu AISI 4130, sedangkan AA 6061 T6 masih diatas *yield strength*. Sedangkan pada penelitian *Development of Carbon Composite Bike Fork Using Finite Element Analysis and a New Pressure Molding Process*^[3], menggunakan teori *Tsai-Wu* dan standar CEN 14781 dengan pemberian gaya sebesar 620 keatas *stress* yang didapatkan tidak cukup besar dan faktor *tsai-wu* berada dibawah 0,78 dan posisi titik *stress* yang terjadi yaitu pada *crown-leg joint area* dan juga pada *blade fork* bagian atas. Hal ini menunjukkan lokasi yang terjadi dengan hasil simulasi diatas hampir sama atau dominan *stress* yang terjadi pada *blade fork* bagian atas.



4.3.2 Analisa Perbandingan *Fatigue Bending Test Fork*

Berdasarkan analisa yang dilakukan terhadap *racing fork bicycle* dengan menggunakan metode *fatigue test* pada SOLIDWORKS serta memberikan pembebanan sesuai dengan standar CEN 14781 untuk pengujian *fatigue* didapatkan hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.8. Hasil yang didapat yaitu perbandingan hasil simulasi antara variasi ketebalan material dan jenis material yang digunakan.

Tabel 4.8 Perbandingan hasil simulasi *fatigue bending test*

Jenis material	Variasi	Ketebalan material (mm)	<i>Safety factor</i> minimum	<i>Damage</i> maksimum	<i>Life</i> minimum (cycles)
AISI 4130	1	1,2	1,286	23,15	432.000
	2	1,4	1,497	10	1.000.000
	3	1,6	1,674	10	1.000.000
AA 6061 T6	4	1,2	0,468	3.343	2.992
	5	1,4	0,527	2.131	4.692
	6	1,6	0,589	1.371	7.294

Dari hasil simulasi *life* didapatkan kesimpulan bahwa variasi 2 dan 3 lebih baik daripada variasi 1. Namun untuk hasil *life* dari variasi 1 masih menunjukkan nilai aman dimana batas minimum *life* adalah 100.000 cycles. Untuk nilai *safety factor* yaitu variasi 3 lebih baik dari variasi 2 dan 1. *safety factor* yang diperoleh dari ketiga perbedaan ketebalan nilainya masih menunjukkan nilai aman. Untuk variasi 2 dan 3 menunjukkan bahwa *fork* memiliki nilai *available life* sama dengan *design life*.

Sedangkan hasil simulasi *fatigue* variasi 4, 5 dan 6 didapatkan kesimpulan bahwa struktur dari *fork* menunjukkan tidak aman. Dimana batas hasil *life* untuk pengujian *fatigue* yaitu minimum 100.000 cycles. Maka berdasarkan perbandingan dari kedua jenis material dan tiga variasi ketebalan yang dilakukan bisa disimpulkan bahwa untuk jenis *racing fork bicycle* cocok



menggunakan material AISI 4130 dengan ketebalan material minimum 1,2 mm.

Berdasarkan penelitian sebelumnya *analysis fatigue fork bicycle testing* didapatkan *life fork* minimum sebesar 136.000 *cycles* yang terdapat pada area pengelasan *blade fork* terhadap *steer fork*^[1]. Jenis material yang digunakan AISI 4130, dengan pemberian gaya 685N pada *dropout fork* dan analisa yang dilakukan cenderung hanya menganalisa bagian area pengelasannya, tidak secara keseluruhan struktur *fork*. Dibandingkan dengan hasil simulasi *fatigue test* diatas dengan bahan yang sama AISI 4130 lebih kecil, dengan lokasi titik minimum *life* juga berbeda untuk *fatigue test* diatas terdapat pada bagian *blade fork* bagian atas tampak depan, tetapi tidak adanya area pengelasan *blade fork* terhadap *steer fork* dan juga besar gaya yang diberikan lebih besar dikarenakan berbeda jenis standar yang digunakan, namun untuk *boundary condition* dan batas *life fatigue* sama dengan standar CEN. Dan jika dibandingkan dengan jenis material AA 6061 T6, pada penelitian sebelumnya belum ada yang melakukan perbandingan terhadap jenis material. Serta jenis, geometri, dan ketebalan *fork* tidak dirinci secara detail, sehingga hasil yang didapatkan belum mewakili untuk jenis *fork* dan ketebalan material secara spesifik.

Sedangkan pada penelitian *Development of Carbon Composite Bike Fork Using Finite Element Analysis and a New Pressure Molding Process*^[3], menggunakan teori Tsai-Wu dan standar CEN 14781. Perilaku mekanik atau mekanisme pembebanan mengacu pada *fatigue bending test* dengan gaya sebesar $\pm 620\text{N}$ untuk analisa hasil eksperimen dengan, namun pengujian dilakukan hanya menganalisa *stress*, *displacement* dan *factor tsai-wu*. Untuk hasil *displacement* yang terjadi rata – rata 9,6 mm, dan nilai *stress* tidak terlalu cukup besar, dengan lokasi titik *stress* dominan terjadi pada *blade fork* dan *crown fork*. Sehingga rata – rata lokasi *stress* yang terjadi sama hal dengan lokasi *failure* pada simulasi di atas.



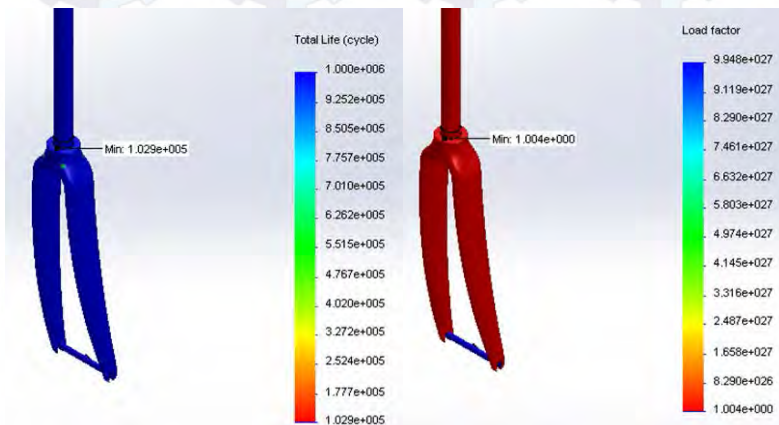
Lokasi titik *life fatigue* minimum pada *fatigue test* diatas terjadi konsisten pada satu titik yang sama seiring berubahnya jenis material dan variasi ketebalan dalam pengujian. Hasil simulasi dari kedua jenis material dan variasi ketebalan diatas, untuk hasil jenis material AISI 4130 sudah di atas nilai siklus yang ditetapkan sebesar 100.000 *cycles*. Sedangkan hasil jenis material *aluminium* masih di bawah nilai siklus yang ditetapkan, sehingga untuk meningkatkan nilai *life* minimum bisa dilakukan dengan mengoptimasi geometri atau pertimbangan dari jenis *aluminium* yang digunakan.

4.4 Analisa Perbaikan

Untuk meningkatkan nilai *life* minimum pada jenis material *Aluminium* 6061 T6, dilakukan perbaikan/menambah ketebalan pada *fork* yaitu dengan ketebalan menjadi 3,4 mm pada bagian *steer* dan *blade fork* seperti pada gambar 4.42, didapatkan hasil *life* minimum 102.900 *cycles* dan *safety factor* 1,004 seperti terlihat pada gambar 4.43. Sehingga struktur dari *fork* menunjukkan aman untuk digunakan dimana batas *life* yang diijinkan minimum yaitu 100000 *cycles*.



Gambar 4.42 Perbaikan pada *steer* dan *blade fork*



Gambar 4.43 *Life fork dan Safety factor fork* perbaikan AA 6061 T6



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan *static bending test*, didapatkan tegangan ekuivalen dan deformasi yaitu:
 - a. Tegangan kritis dan deformasi dari kedua variasi jenis material dengan tiga variasi ketebalan terjadi pada bagian *blade fork* bagian atas dan ujung *dropout fork*.
 - b. Tegangan ekuivalen maksimum untuk tipe material AISI 4130 dengan tiga variasi 1, 2 dan 3 yaitu 439,8, 379,3 dan 333,7 MPa. Sedangkan tipe material AA 6061 T6 dengan variasi 4, 5 dan 6 yaitu 417,5, 368,9 dan 325,1 Mpa.
 - c. Deformasi maksimum untuk tipe material AISI 4130 dengan tiga variasi 1, 2 dan 3 sebesar 3,88, 3,28 dan 2,86 mm. Sedangkan tipe material AA 6061 T6 dengan variasi 4, 5 dan 6 sebesar 11,07, 9,56 dan 8,35 mm.
 - d. Tegangan ekuivalen dan deformasi yang terjadi untuk tipe material AISI 4130 masih dalam kondisi aman, sehingga menunjukkan struktur fork aman digunakan. Sedangkan untuk tipe material AA 6061 T6 tidak dalam kondisi aman dan menunjukkan struktur *fork* gagal.
2. Berdasarkan *fatigue bending test*, didapatkan *life fatigue* yaitu:
 - a. *Fork* dengan tipe material AISI 4130 dan variasi 1, 2 dan 3 didapatkan nilai *life* minimum 432.000, 1.000.000 dan 1.000.000 *cycles*.
 - b. *Fork* dengan tipe material AA 6061 T6 dan variasi 4, 5 dan 6 didapatkan nilai *life* minimum 2.992, 4.692 dan 7.294 *cycles*.
 - c. Berdasarkan dari kedua jenis material tersebut, untuk tipe material AISI 4130 masih menunjukkan *fork* dalam



kondisi aman atau memenuhi standar yang diberlakukan. Sedangkan untuk tipe material AA 6061 T6 menunjukkan *fork* tidak dalam kondisi aman, karena masih jauh dibawah nilai standar yang diberlakukan. Sehingga untuk meningkatkan *life* minimum *fork* pada material aluminium bisa dilakukan optimasi geometri dan pertimbangan jenis aluminium yang digunakan.

3. Setelah dilakukan perbaikan terhadap *fork* yang gagal, untuk jenis material AA 6061 T6 didapatkan hasil fatigue life minimum sebesar 102.900 *cycles*. Perbaikan dilakukan dengan menambah ketebalan pada *fork* yaitu dengan ketebalan menjadi 3,4 mm pada bagian *steer* dan *blade fork*

5.2 Saran

Hasil simulasi ini merupakan sebagai sarana pendukung untuk proses perancangan. Sehingga proses ini dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam mengoptimalkan perancangan sehingga dapat mengoptimalkan perancangan desain *racing fork bicycle*. Proses pengujian secara riil tetap perlu dilakukan untuk mengetahui hasil secara sesungguhnya dari desain hasil simulasi.



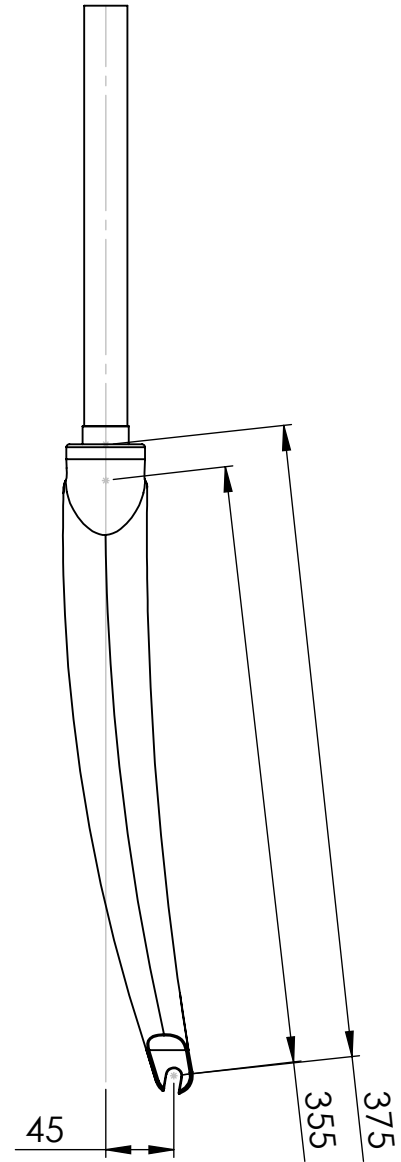
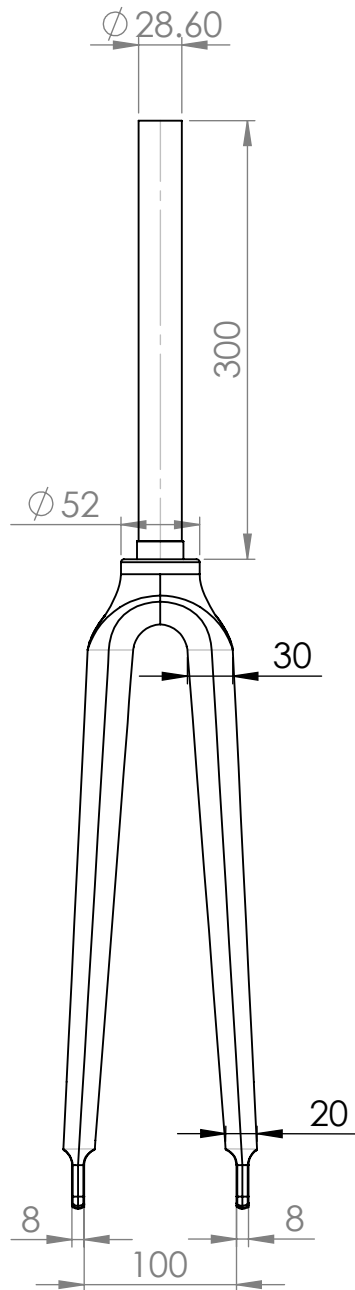
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nathaniel, A. J. dan Bradford, L. L., April 2010. “Fatigue Analysis of a Bicycle Fork”. **Worcester Polytechnic Institute**.
- [2] Crosland Arran, Apr. 2015. **Stress Analysis on The Road Racing Fork Test**,
<<http://www.slideshare.net/ArranCrosland/final-year-project-process.html>>
- [3] Ahn, Hyunchul, February 2014. “Development of Carbon Composite Bike Fork Using Finite Element Analysis and a New Pressure Molding Process”. **Seoul National University**.
- [4] EN 14781. November 2005. “Racing bicycles - Safety requirements and test methods”. **European Committee for Standardization**.
- [5] Akuan, A. 2007. **Kelelahan Logam**. Bandung : UNJANI.
- [6] Achmad, Z. 1999. **Elemen Mesin I**. Bandung : Refika Aditama.
- [7] Ralph, I. S. R. I. dan Henry O. F. 2001. **Metal Fatigue In Engineering**. Canada : A Wiley-Interscience Publication.
- [8] Lawrence, H. V. V. 1987. **Ilmu dan Teknologi Bahan**. Jakarta : Erlangga.
- [9] Hibbeler, R.C. 2008. **Mechanics Of Materials**. Canada : Pearson Prentice Hall.
- [10] Surdia, T dan Shinroku S. 2000. **Pengetahuan Bahan Teknik**. Jakarta : Pradnya Paramita.
- [11] Bikewegon. **Bike Parts Glossary**.
<<http://www.bikewagon.com/guides/bike-parts-glossary>>
- [12] Wikipedia. **Bicycle Fork**.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_fork>

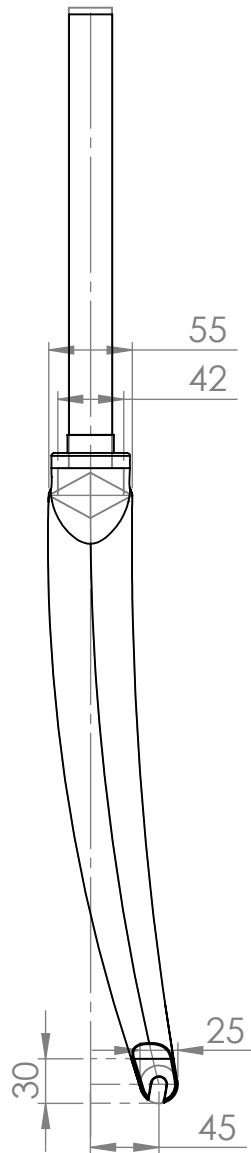


LAMPIRAN

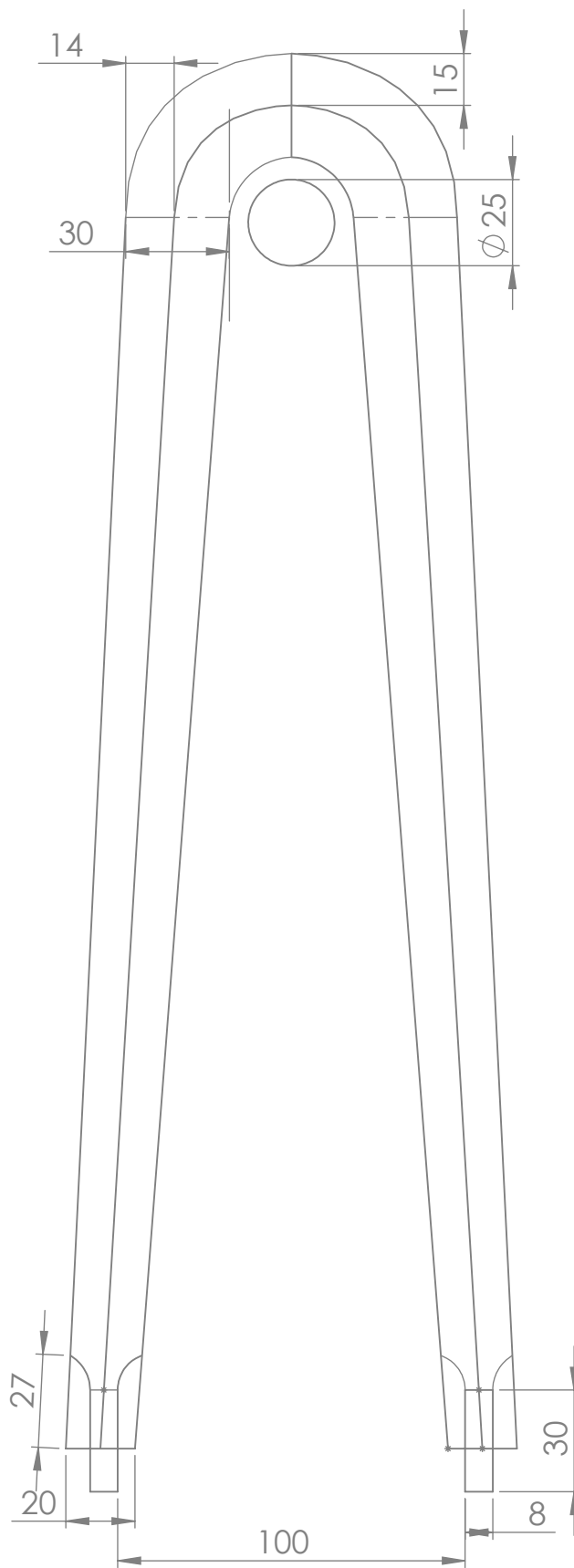
GAMBAR TEKNIK ***FORK RACING BICYCLE***



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN						Fork Racing Bicycle			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		Draw1	
								A4	
				WEIGHT:		SCALE:1:5		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE: Sketsa Dasar - Samping			
DRAWN						DWG NO. Draw2			
CHK'D									
APPV'D						A4			
MFG									
Q.A				MATERIAL:		SCALE:1:10			
				WEIGHT:		SHEET 1 OF 1			



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN						
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A						

TITLE:

Sketsa Dasar - Depan

DWG NO.

Draw3

A4

WEIGHT:

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1



BIODATA PENULIS



Juli Marta dilahirkan di Bangka Belitung, 07 Juli 1989, anak yang terlahir dari orang tua terbaik bernama Muslimmi dan Kalsumawati. Penulis merupakan anak kelima dari lima bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan normal yaitu SDN 423 Kemuja, SMP Negeri 1 Mendo Barat dan SMK Negeri 2 Pangkal Pinang. Pada tahun 2008 penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Perawatan dan Perbaikan Mesin Polman Negeri Bangka Belitung dan tahun 2013 penulis melanjutkan studi S1 Teknik Mesin ITS, dimana Mekanika Benda Padat merupakan bidang studi yang dipilih penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir. Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan. Penulis juga pernah bergabung dalam berbagai kegiatan organisasi antara lain ketua UKM olahraga dan staff MAHACITA Polman Negeri Bangka Belitung. Untuk semua informasi dan masukan dapat menghubungi penulis melalui email julimarta0707@gmail.com.